



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden korkeakoulu

Max Grönvall

Tahtituotannon implementointi toimitilarakentamisessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 08.09.2019
Valvoja: Professori Olli Seppänen
Ohjaaja: Antti Aaltonen

Tekijä Max Grönvall

Työn nimi Tahtituotannon implementointi toimitilarakentamisessa

Maisteriohjelma Master's Programme in Building Technology

Koodi ENG27

Työn valvoja Professori Olli Seppänen

Työn ohjaaja(t) DI Antti Aaltonen

Päivämäärä 08.09.2019

Sivumäärä 94+4

Kieli Suomi

Rakennusalan tuottavuus on ollut Suomessa jo monen vuosikymmenen ajan heikkoa, joten toimiala on ollut kovan painostuksen alaisena kehittää uudenlaisia toimintatapoja. Korjausliikkeeksi onkin ehdotettu erityisesti yhteistoiminnallista tuotantos suunnittelua sekä – ohjausta. Tahtituotantoprosessi on ollut viime aikoina paljon esillä sekä rakennus alalla että mediassa ja sitä pidetäänkin nousevana trendinä. Näin ollen tahtituotannon yhteistoiminnallisuutta sekä sen muita hyötyjä pidetäänkin ratkaisuna tuottavuus -ongelmaan.

Tutkimuksen tavoitteena oli luoda ja kehittää toimitilarakentamisen projekteihin tahtituotantoprosessin toteutusmalli. Tavoitteena oli myös tunnistaa tahtituotannon osalta haasteita aiheuttavat sekä onnistumisiin vaikuttavat tekijät. Toteutusmallin tarkoituksena on selkeyttää tahtituotantoprosessia sekä auttaa tuomaan tahtituotannon oppeja osaksi työmaakäytäntöjä. Toteutusmallilla kehitettiin tahtisuunnittelua ja tahtiohjausta sekä havaittiin edellytyksiä ja haasteita, jotka vaikuttavat tahtituotannon implementoinnin onnistumiseen.

Tutkimus toteutettiin suunnittelututkimuksena, käyttäen tutkimusstrategiana tapaustutkimusta. Suunnittelututkimuksessa tutkittiin käytännön ongelmaa kohteessa 1 ja tapaustutkimuksien, asiantuntijahaastatteluiden sekä kirjallisuuden avulla esitettiin ratkaisuja. Tutkimuksen alussa on kirjallisuuskatsaus, jonka jälkeen on lähtötilanne ja empiirinen osuus, jotka koostuvat tapaustutkimuksissa pidetyistä haastatteluista, kohteiden havainnoinnista sekä kohteiden asiakirjojen tutkimisesta. Empiirisen tutkimuksen sekä kirjallisuuskatsauksen perusteella kehitettiin tahtituotannon toteutusmalli. Tämän perusteella valmistunutta toteutusmallia validoitiin työpajalla, johon osallistui kohdeyrityksen edustajia. Työpajan avulla pystyttiin lisäämään toteutusmalliin käytännön näkökulmia. Työpajassa käytyjen keskustelujen perusteella toteutusmallia päivitettiin toimivammaksi.

Tutkimus osoitti, että tahtituotannon käyttöönotossa esiintyy edelleen erilaisia haasteita sekä Yhdysvalloissa että Suomessa. Lisäksi tutkimuksen aikana nousi esille edellytyksiä, jotka vaikuttavat tahtituotannon onnistuneeseen implementointiin. Havaittiin, myös että Yhdysvalloissa käytettävä yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu on toimiva malli. Työpajassa pidettiin yhteistoiminnallista tahtisuunnittelua mahdollisena sekä hyvin toimivana myös Suomessa. Tahtiohjausta varten esiteltiin erilaisia toimintatapoja, työkaluja ja esimerkkejä, joita validoitiin työpajassa. Toteutusmalliin ideoitiin uusia ja sopivampia tahtiohjauksen toimintatapoja. Lopuksi luotiin toimiva toteutusmalli, jota tahtiprojektit voivat hyödyntää pohjana. Mallipohjaa voidaan soveltaa erilaisissa projekteissa tekemällä toteutusmalliin projektin tarpeiden ja vaatimusten mukaisia muokkauksia.

Avainsanat tahtituotanto, yhteistoiminnallinen rakentaminen, tahtisuunnittelu, tahtiohjaus

Author Max Grönvall

Title of thesis Implementation of takt production in commercial building

Master programme Master's Programme in Building
Technology**Code** ENG27

Thesis supervisor Professor Olli Seppänen

Thesis advisor(s) M.Sc. Antti Aaltonen

Date 08.09.2019**Number of pages** 94+4**Language** Finnish

In construction industry productivity has been weak for many decades. The construction industry has been under hard pressure to develop new procedures for construction. As a way to fix this problem, there has been suggestions to implement collaborative production planning and controlling. As a popular solution to this significant problem is takt productions collaborative way and its other benefits. Takt production process has been quite a lot on display in construction industry and media. Takt production process is a rising trend. Takt production emphasizes heavily on lookahead and minimizing productions volatility.

The aim of this study is to create and develop an execution model for a Finnish construction company for implementing takt production processes in commercial building projects. Execution model is meant to clarify takt production process and help to bring different learnings to the use of construction site practice. In the execution model was developed takt planning and takt control. Also, prerequisites and barriers that effect the success of implementation was identified. During the duration of this study a takt plan for the construction company was created and brought up tools for takt control.

The study was carried out as a design science research, using case study as a research strategy. The study starts with a literary review and after that is the empirical part, which consists of interviews, observing on site and projects documents held in the case study projects. Based on empirical data and literary review an execution model for takt production was developed. After that the execution model was validated in a workshop, which was attended by the construction companies representatives. With the help of the workshop it was possible to add a more practical view. With the discussion held in the workshop the execution model was updated to be more functional.

The study indicates that in the implementation of takt production there are still different barriers in California, USA and Finland. In addition, the collaborative way of takt planning used in the USA was noticed to be an efficient way. This collaborative way was introduced in the workshop and there it was held as an efficient and workable way also in Finland. For takt control different procedures, tools and examples where introduced and validated in the workshop. In addition, the workshop generated ideas of new and more suitable takt control methods. An execution model for takt production was developed for the use of different projects to benefit as a layout. Model layout can be adapted to the needs of different projects.

Keywords takt production, collaborative building, takt planning, takt control

Alkusanat

Rakennustekniikan opintojeni aikana minulle tärkeäksi nousi, kuinka voisin joskus olla mukana vaikuttamassa tuottavuuden kasvuun. Sillä rakennusalahan on ollut tunnettu hyvin heikosta tuottavuudestaan. Tahtituotantoa lähdin tutkimaan sen esille tuotujen hyötyjen takia. Rakennusosalalla liian harvoin suunnitellaan työt etukäteen. Tahtituotanto luo läpinäkyvän prosessin, joka on helposti kaikille ymmärrettävissä. Aiheen valintaan vaikutti myös sen ajankohtaisuus sekä mahdollisuus päästä San Franciscoon tutkimaan kahta projektia, jossa tahtituotanto on otettu käyttöön kokonaisvaltaisesti. Pääsin siis näkemään paikan päälle, kuinka tahtituotanto käytännössä toimii isoissa projekteissa. Tästä mahdollisuudesta ja työn valvonnasta haluaisinkin kiittää Professori Olli Seppästä. Kiitos kuuluu myös Antti Aaltoselle, joka auttoi minua ohjaamalla työtäni eteenpäin sekä mahdollisti työpajan toteutuksen. Erityinen ja tärkein kiitos kuuluu Gether Beek:lle, joka on auttanut ja tukenut minua koko yliopistourani aikana ja sai minut hakemaan aikoinaan yliopistoon. Ilman häntä en todennäköisesti olisi tässä tilanteessa valmiin diplomityön kanssa.

Espoo 08.09.2019

Max Grönvall

Max Grönvall

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tutkimustavoitteet ja rajaukset.....	2
1.3	Tutkimusmenetelmä	3
1.4	Tutkimuksen rakenne	4
2	Empiirisen tutkimuksen toteutus.....	5
2.1	Tapaustutkimus	5
2.2	Aineiston keruu ja analysointi	6
2.3	Tutkimuskohteiden valinta	9
3	Tahtituotanto	10
3.1	Lean ajattelu	10
3.2	Rakennushankkeen ominaisuuksia	12
3.3	Lean ajattelu rakennusteollisuudessa	13
3.4	Tahtituotannon historia.....	14
3.5	Tahtisuunnittelu.....	15
3.5.1	Tahdin määrittäminen	16
3.5.2	Tahtisuunnittelun menetelmät.....	17
3.5.3	Tahtiaikataulu.....	21
3.6	Tahtiohjaus	22
3.7	Tahtituotannon tapaustutkimukset kirjallisuudessa.....	26
4	Tutkimuksen lähtötilanne.....	29
4.1	Kohdeyrityksen ja kohteen esittely	29
4.2	Tahtisuunnittelu.....	29
4.3	Tahtiohjaus	32
4.4	Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon.....	33
4.5	Havaitut haasteet tahtituotannon implementoinnissa	34
4.6	Haasteiden analysointi.....	35
5	Empiirinen tutkimus.....	39
5.1	Asiantuntijahaastattelut	39
5.1.1	Tahtisuunnittelu	39
5.1.2	Tahtiohjaus.....	41
5.1.3	Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon.....	42
5.1.4	Tahtituotannon implementoinnin haasteet	42
5.2	Tapauskohteiden esittely	43
5.3	Tahtisuunnittelu.....	44
5.3.1	Tahtiaika ja -alue.....	46
5.3.2	Tahtiaikataulu.....	49
5.3.3	Puskurit	51
5.3.4	Tahtisuunnittelun analysointi	52
5.4	Tahtiohjaus	55
5.4.1	Tahtiohjauksen analysointi	63
5.5	Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon.....	65
5.6	Havaitut haasteet tahtituotannon implementoinnissa	67
6	Toteutusmalli ja validointi	71
6.1	Toteutusmalli.....	71

6.1.1	Toteutusmallin edellytykset	71
6.1.2	Tahtisuunnitelma.....	73
6.1.3	Tahtiohjaus.....	77
6.2	Työpaja.....	82
6.3	Toteutusmallin validointi	82
6.3.1	Edellytykset.....	83
6.3.2	Tahtisuunnittelu	84
6.3.3	Tahtiohjaus.....	86
6.3.4	Yhteenvedo	88
6.4	Tutkimuksen rajoitteet.....	88
6.5	Tutkimuksen tieteellinen kontribuutio	90
7	Johtopäätökset ja jatkokehitysehdotukset	92
	Lähdeluettelo	
	Liiteluettelo	
	Liitteet	

Lyhenteet

JOT	Juuri oikeaan tarpeeseen
LVI	Lämpö, vesi ja ilmanvaihto
LVIS	Lämpö, vesi, ilmanvaihto ja sähkö eli talotekniset työt
VR	Virtual Reality eli virtuaalitodellisuus
PU	Pääurakoitsija
AU	Aliurakoitsija
LSH	Lähtötiedot, Suunnittelu ja Hankinta

1 Johdanto

Tässä luvussa esitellään työn tausta, tutkimustavoitteet ja -rajaukset, tutkimusmenetelmä sekä tutkimuksen rakenne. Tämän luvun tarkoituksena on antaa kuva tutkimuksen kokonaisuudesta sekä avata hieman tutkimusaihetta.

1.1 Tausta

Rakennusala on varjostanut jo vuosikymmeniä kestänyt heikko tuottavuus, joka aiheuttaa toimialalla erilaisia ongelmia. Rakennusalan tuottavuus on pysynyt alhaisena noin 40 vuoden ajan. Ongelmat ovat nousseet esille varsinkin projektien budjetin ylittämisenä, laatutason heikentymisenä sekä aikataulusta myöhästymisenä. Tuottavuus onkin rakennusosalalla ollut heikompä kuin muilla toimialoilla (Forbes & Ahmed, 2011; Koskenvesa, 2011). Rakennusalan tuottavuusongelma ei vallitse pelkästään Suomessa, vaan samankaltaisia ongelmia on havaittu kansainvälisesti ympäri maailmaa. (Koskenvesa, 2011)

Myös mediassa nostetaan esille rakennusalan tuottavuusongelma. Mediassa painotetaan, ettei rakennusosalalla tehdä töitä riittävän tehokkaasti sekä usein myös projektien aikataulut venyvät. Media onkin ottanut kantaa näihin ongelmiin sekä nostanut näitä huomioita myös esille:

Rakennuslehti, 9/2017: *”Rakennusosalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa – onko allianssista tai leanista apua?”*

Kauppalehti, 4/2018: *”Rakentamisen surkealle tuottavuudelle selitys – Professori: ”Työajasta vain 30 prosenttia tuottavaan työhön”*

Tuottavuusongelman kehittämiseksi on ehdotettu johtamistavan muutosta sekä eri osapuolten välistä yhteistoiminnallista tuotantosunnittelua ja -ohjausta. (Koskenvesa, 2011) Yhtenä ratkaisuna tuottavuuden parantamiseen on esitetty tahtituotantoa. (Heinonen & Seppänen, 2016; Chauan et al., 2018). Tahtituotannon tarkoituksena on vähentää vaihtelevuutta jaksottamalla tuotantotasoa pienemmiksi osiksi ja sillä tähdätään työtehtävien ennakkointiin sekä työjärjestysten suunnitteluun. (Emdanat, Linnik & Christian, 2016) Tahtituotannon odotettuja hyötyjä ovat projektin keston lyheneminen, kustannusten pienentyminen, työvirtauksen läpinäkyvyys ja ennustaminen sekä kehittynyt toimintasuunnittelu. Tahtisuunnittelu parantaakin työn tuottavuutta. (Linnik, Berghede & Ballard, 2013) Tahtisuunnittelun hyötynä pidetään projektin kaikkien osapuolten sitouttamista työsuunnitteluun jo projektin alkuvaiheessa. (Frandsen & Tommelein, 2014) Tahtituotanto takaa jatkuvan ja tasaisen virtauksen ja täten vähentää hukkaa. (Yassine, Bacha, Fayek & Hamzeh, 2014) Hukan vähentäminen taas parantaa tuottavuutta. (Vatne & Drevland, 2016).

Tahtituotantoprosessi on yksi Lean rakentamisen menetelmistä (Dlouhy, Grobler, Binner & Haghsheno, 2017). Haghsheno, Binner, Dlouhy ja Sterliken (2016) mukaan tahtituotannon käyttö on Lean -tuotannon yksi keskeisimmistä menetelmistä. Lean rakentaminen on ajankohtainen tuotantoon liittyvä ajattelumalli, joka on saanut rakennusosalalla entistä enemmän huomiota sekä kannatusta. Lean -ajattelumallin tärkeimmät tavoitteet ovat vähentää hukkaa sekä parantaa tehokkuutta (Vatne & Drevland, 2016).

Tahtituotanto näyttääkin olevan yksi rakennusalan nousevista trendeistä tällä hetkellä. Artikkeleita tahtituotannosta on nostettu viime aikoina etenevissä määrin esille. Suurin

osa artikkeleista painottuu kuitenkin toistaiseksi enemmän asuntorakentamiseen. Rakennuslehdessä tahtituotanto on saanut viime aikoina enemmän huomiota:

Rakennuslehti, 1/2019: *”Asuntorakentamisen sisätyöt nopeutuivat kolmanneksella auto-teollisuuden opeilla”*

Rakennuslehti, 1/2019: *”Lipsanen rakensi Prisman BMW:n tahtituotanto-opeilla – rakennustyömaiden muuttuvat olosuhteet tekevät soveltamisesta vaativaa”*

Tahtituotantoa on käytetty tuotantoteollisuudessa pidempään, kun taas rakennusalalla (varsinkin Suomessa) se on suhteellisen uusi käsite. Tahtituotannon implementoinnin tuloksia on toistaiseksi julkaistu tutkimuksissa hyvin vähän, sillä aihe on rakennusalalla melko tuore (Heinonen & Seppänen, 2016). Kohdeyritys SRV Rakennus Oy on käyttänyt tahtituotantoprosessia osittain jo muutaman projektin osalta, mutta yrityksen on tarkoitus pilotoida kokonaisvaltaisempaa tahtituotantoa tulevilla projekteillaan. Tahtituotannon implementointi on osoittautunut yrityksessä haasteelliseksi, mutta yrityksellä on halu kehittyä ja löytää toimivat menetelmät sekä pyrkii parantamaan tuottavuutta tehostamalla prosessejaan. Tahtituotantoprosessin ansiosta odotetaan kyseisiä hyötyjä. Tahtituotantoaiheesta löytyy joitakin aiempia tutkimuksia ja monet tahtituotannon tapaustutkimuksista liittyvätkin juuri sairaala- ja toimitilarakentamiseen. (Dlouhy et al., 2017; Dlouhy, Binninger, Oprach & Haghsheno, 2016; Frandson et al., 2013; Frandson, Berghede & Tommelein, 2014; Frandson & Tommelein, 2014; Frandson & Tommelein, 2016) Tässä työssä käytetäänkin teoreettisena viitekehyksenä aiempia tapaustutkimuksia. Suurin osa dokumentoiduista tahtiprojekteista tämän tutkimuksen kirjoituksen aikana ovat toimitilarakennuksia, mutta Suomessa dokumentointi on keskittynyt enemmän asuntorakentamiseen (Building 2030, 2019).

Vaikka kirjallisuutta sekä aiempia tapaustutkimuksia löytyy tahtituotantoon liittyen, ongelmana on ollut kokonaisvaltaisten tapaustutkimusten puute. Teoria ja käytäntö saattavat vaikuttaa toisiinsa nähden kaukaisilta termeiltä, mutta todellisuudessa molemmat tähtäävät tiedon luomiseen. Kyseistä tietoa voidaan käyttää olemassa olevien prosessien tai systeemien kehittämiseen. Parhaimmillaan tiedon avulla voidaan esimerkiksi luoda suunnitelma tai konsepti uutta prosessia varten (Dresch, Lacerda & Antunes Jr., 2015). Teorian ja käytännön välisen kuilun ongelmana on pidetty tutkimusten relevanssin puutetta käytännön ihmisille. Toinen ongelma on teorian luoma liian kapea tutkimusalue. (Starkey & Madan, 2001). Tämän tutkimuksen tarkoituksena onkin täyttää kyseinen tutkimusaukko ja tutkimuksella pyritään hakemaan kokonaisvaltaista tietoa tahtiprojektista työmaalta sekä kirjallisuudesta. Näin saadaan kyseisestä aiheesta käytännönläheistä tietoa. Tässä työssä onkin tarkoitus tutkia tahtituotantoa.

1.2 Tutkimustavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen päätavoite on luoda tahtituotannon toteutusmalli toimitilarakentamiselle. Toteutusmallin avulla pyritään parantamaan yhteistoiminnallisuutta projektin eri osapuolten kesken ja luoda tuotannonsuunnittelusta ja -ohjauksesta prosesseja sekä käytäntöjä. Tavoitteena on myös luoda toimintamalli, jota voidaan yleisesti käyttää toimitilakohteissa. Toteutusmalli on tarkoitettu perustaksi, jonka mukaan projektien tulisi räätälöidä malli sopivaksi kyseiselle hankkeelle. Toteutusmallin onkin tarkoitus tukea tuotantoa ja helpottaa sitouttamaan osapuolet yhteiseen tuotantosuunnitelmaan. Tutkimuksessa pyritään myös löytämään uusia kehityskohtia tahtituotantoprosessista.

Tämän tutkimuksen tutkimusongelmana on tämänhetkinen tieto- ja osaamistaso tahtituotannon käyttöönoton osalta Suomessa. Tutkimusongelma vaatii tarkempaa perehtymistä aiheeseen sekä lisätutkimista. Tutkimusongelma johtaa tämän tutkimuksen päätutkimuskysymykseen: *Miten tahtisuunnittelua ja –ohjausta tulisi ottaa käyttöön toimitilarakentamisessa?* Lisäksi tarvitaan vielä tarkentavia tutkimuskysymyksiä, joiden avulla pyritään avaamaan tutkimusongelmaa sekä syventämään päätutkimuskysymystä:

- *Minkälainen prosessi toimii parhaiten tahtituotannon käyttöönotossa?*
- *Mitkä tekijät vaikuttavat onnistumiseen tai aiheuttavat haasteita tahtituotannon implementoinnissa?*

Rajauksena ja viitekehyksenä tutkimukselle ovat tahtituotanto rakentamisessa ja erityisesti toimitilarakentamisessa. Tutkimuksessa keskitytään pääurakoitsijan näkökulmaan, jota tuetaan urakoitsijoiden sekä asiantuntijoiden näkemyksillä. Tutkimus on rajattu koskemaan projektiorganisaatiota eikä tutkimuksessa käsitellä tahtituotantoa koko yrityksen näkökulmasta.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus toteutetaan kvalitatiivisena tutkimuksena. Tutkimuksen tarkoitus on luoda uusi prosessimalli tuotantoa varten. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui suunnittelututkimus. Menetelmän on tarkoitus luoda pohja käytännönläheiselle tutkimukselle sekä ratkaista käytännön haasteita (Dresch et al., 2015; Holmström, Ketokivi ja Hameri 2009). Holmström et al. (2009) mukaan suunnittelututkimuksen tarkoituksena on luoda toimintatapa tai prosessi (artefakti), jolla ratkaistaan ongelma ja päästään tiettyyn tavoitteeseen. Tämän tutkimuksen tarkoitus on juurikin luoda käytännönläheisen tutkimuksen perusteella suositus eli toimintamalli. Nykytilanteen selvittämiseksi tutkitaan kohdeyrityksen tahtituotannon lähtötasoa kohteesta 1. Kohteen 1 nykytilanteen ja havaittujen ongelmien pohjalta lähdetään arvioimaan tarvittavia kehityskohteita kirjallisuuden ja tapaustutkimusten avulla. Tapaustutkimuksessa esille nousseiden havaintojen sekä kirjallisuuden pohjalta kehitetään yrityksen olemassa olevaa prosessia.

Holmström et al. (2009) mukaan suunnittelututkimus jaetaan neljään vaiheeseen. Suunnittelututkimukselle ohjaavana tekijänä on päämäärään tähtäävä analyysi. Analyysin perustana toimivat nykytilanne, haluttu tilanne sekä näiden kahden tilanteen väliset eroavaisuudet. Analyysin aikana on tarkoitus luoda toimenpiteitä, joilla nykytilanteesta päästään haluttuun tilanteeseen. Ensimmäinen vaihe eli ongelman ratkaiseminen aloitetaan luomalla kokonaisvaltainen ymmärrys ongelmasta sekä miettimällä ongelmien perusteella potentiaalisia ratkaisusuunnitelmia. (Holmström et al., 2009) Tässä tutkimuksessa nykytilanne sekä ymmärrys ongelmasta esitetään kohteessa 1. Haluttua tilannetta ja toimintatapoja haetaan kirjallisuuden sekä tapaustutkimusten perusteella.

Toinen vaihe pitää sisällään ratkaisun jalostamista. Ratkaisusuunnitelma testataan empiirisesti. Testauksen avulla selvitetään, mikä oikeasti toimii käytännössä ja mikä ei. Jalostaminen pitää sisällään suunnitelman implementointia, kehittämistä sekä arviointia. Toisen vaiheen päämäärään tähtäävä analyysi pitää sisällään toimivan ratkaisusuunnitelman dokumentoinnin. (Holmström et al., 2009) Tässä tutkimuksessa ratkaisun jalostaminen toteutetaan toteutusmallin validoinnilla työpajassa. Työpaja järjestetään kohteen 1 organisaation henkilöiden kanssa, joiden on tarkoitus validoida toteutusmalliin käytännöllisyys todellisuudessa. Työpajassa on myös tarkoitus kehittää ehdotusten perusteella toteutusmallia edelleen.

Kolmannen vaiheen tarkoituksena on luoda yleispätevä malli lopputuloksista sekä demonstroida teoreettinen panos. Tarkoituksena on siis tutkia ja ymmärtää lopputuotetta myös teoreettiselta kannalta. Tutkijoilta odotetaan analyysille tieteellistä sekä teoreettista perustelua. Neljännen vaiheen tarkoitus on luoda teoreettisia ehdotuksia tiedon käytännön soveltamisen osalta. Tarkoituksena on luoda yleisesti ja laajasti toimivia suosituksia. (Holmström et al., 2009) Toteutusmallin on tarkoitus olla yleispätevä tahtituotannon mallin suositus toimitilarakentamiselle. Toteutusmalliin haetaan myös tukea teoreettiselta kannalta ja vertaillaan kirjallisuuden esittämiin tuloksiin.

Osallistava tapaustutkimus on osa suunnittelututkimuksen tutkimusstrategiaa (Holmström et al., 2009). Tämä tutkimus koostuu useammasta tapaustutkimuksesta, joista ensimmäinen tapaus toimii tutkimuksen perustana eli lähtökohtana. Kahdella muulla tapaustutkimuksen kohteella haetaan kehityskohteita ja toimintatapoja lähtökohtaiseen tapaukseen. Yin (1981) mukaan tarve tapaustutkimuksen käytöstä tutkimusstrategiana herää silloin, kun tutkitaan ajankohtaista ilmiötä sen todellisessa kontekstissa. Tätä tutkimusstrategiaa käytetään varsinkin sellaisissa tapauksissa, kun ilmiön ja kontekstin väliset rajapinnat eivät ole selviä. Tässä tutkimuksessa selvitetään tahtituotannon käyttöä sekä prosesseja ilmiöiden todellisissa konteksteissa. Lähtökohtana rajapinnat ovat jokseenkin epäselviä, mitkä ilmiöön liittyvät toimintatavat ovat oleellisia ja mitkä eivät.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus alkaa empiirisen tutkimuksen toteutuksen esittämisellä luvussa kaksi. Kirjallisuuskatsaus on esitetty luvussa kolme, jossa esitellään ensin Lean –ajattelua sekä sen soveltamista rakennusosalalla. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään tarkemmin yhteen Lean ajattelumallin työkaluun eli tahtituotantoon. Tässä työssä tarkastellaan tahtituotantoa tahtisuunnittelun ja tahtiohjauksen kautta. Tämän jälkeen käydään läpi kirjallisuudessa esitettyjä tapaustutkimuksia tahtituotannon käytöstä.

Empiria koostuu kohdeyrityksen lähtötilannekohteesta luvussa neljä, kahdesta tapaustutkimuksesta sekä asiantuntijahaastatteluilta luvussa viisi. Empiriassa käydään läpi kohteiden esittely sekä asiantuntijat, tahtisuunnittelua, tahtiohjausta, suunnittelun vaikutusta tahtituotantoon ja havaitut haasteet tahtituotannon implementoinnissa. Ensimmäisen kohteen tahtituotantoprosessia kehitetään kirjallisuuskatsauksen, kahden muun tapaustutkimuksen sekä asiantuntijoiden antamien tietojen perusteella. Lähtötilannetta verrataan kirjallisuuteen luvussa neljä. Tapaustutkimusten kohteet 2 ja 3 keskittyvät kalifornialaisen yrityksen työmaihin, joissa tahtituotantoprosessi on jo käytössä. Tutkimuksen asiantuntijanäkemykset on kerätty Kaliforniassa haastattelujen yhteydessä.

Empirian jälkeen esitellään kirjallisuuden ja tapaustutkimusten pohjalta paranneltu tahtituotantomalli luvussa kuusi. Malli sisältää tahtisuunnittelun ja -ohjauksen uudet prosessit sekä työkalut. Sen jälkeen tahtituotantomallia validoidaan ja tehostetaan edelleen työpaikassa. Tämän jälkeen esitetään lopullinen ratkaisumalli, jonka tarkoituksena on tehostaa kohdeyrityksen rakentamista sekä tuottaa myös muita hyötyjä. Lopuksi esitetään luvussa seitsemän johtopäätökset ja jatkotutkimusaiheet.

2 Empiirisen tutkimuksen toteutus

Tässä luvussa käsitellään tarkemmin tutkimuksessa käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä tutkimuksessa käytettyä aineistoa. Tutkimusmenetelmän sekä aineiston esittelyn on tarkoitus antaa lukijalle tarkka kokonaiskuva siitä, miten tutkimus on toteutettu sekä miksi valittuun tutkimusmenetelmään on päädytty. Lisäksi tässä osiossa esitellään tutkimuksen aineistonkeruu- sekä analysointimenetelmät.

2.1 Tapaustutkimus

Tämä tutkimus toteutettiin käyttäen suunnittelututkimus tutkimusmenetelmää, jossa yksi tutkimuksen toteutukseen käytettävistä menetelmistä on tapaustutkimus. Tapaustutkimus on empiirinen tutkimusmenetelmä, jonka tarkoituksena on tutkia nykyaikaista ilmiötä syvällisesti tosielämän yhteydessä. Tutkimusmenetelmä sopii parhaiten ilmiön tutkimukseen, jossa rajoitteet kyseisen ilmiön sekä asiayhteyden välillä ovat epäselviä. Tiettyyn laajuuteen asti tapaustutkimuksessa voidaan yhdistää muidenkin tutkimusmenetelmien käyttöä. Tutkimuksen tekijän on tunnistettava tietyt erityistilanteet, joissa tiettyjen muiden tutkimusmenetelmien yhdistämisestä tapaustutkimuksen menetelmän kanssa voi koitua erityistä hyötyä. Tämänkaltaisen hyöty korostuu varsinkin tapaustutkimuksessa silloin, kun tutkijalla ei ole ollenkaan tai on vain vähän hallintaa konkreettisista käytännössä tapahtuvista tapahtumista, joihin halutaan vastauksia, miten ja miksi. (Yin, 2009)

Tapaustutkimuksen tapausmäärä on tyypillisesti pieni ja tarkoituksena on tutkia yhtä tai enintään muutamaa tietyllä tarkoituksella valittua tapausta. (Koskinen et al., 2005) Tapaustutkimukset voidaan jakaa sekä yksittäis- että monitapaustutkimukseen. Yksittäistutkimus on analyyttisesti heikompi sekä sen tulokset eivät ole yleistettäviä. Monitapaustutkimuksen tuloksia pidetäänkin luotettavimpina, koska monitapaustutkimuksessa otanta on laajempi, joka lisää tutkimustulosten luotettavuutta sekä tuloksissa otetaan huomioon myös eri näkökulmia. Ennen tutkimuksen aloittamista, tutkimustapaukset tulee valita tutkimukseen tarkasti, jotta olisi mahdollista saada samanlaisia tai toisiinsa rinnastettavia tuloksia. (Yin, 2009) Kvalitatiivisessa tutkimuksessa aineiston laadulla on merkittävä rooli ja tapaustutkimuksessa pyritäänkin analysoimaan tutkimustapauksia mahdollisimman perusteellisesti eikä aineiston määrällä ole niin merkittävää roolia. (Eskola & Suoranta, 2003) Tämä diplomityö on toteutettu holistisena monitapaustutkimuksena.

Pilottitapausten käyttäminen tapaustutkimuksessa on toimiva tapa kerätä saatavilla olevia tietoja. Lisäksi pilottikohteissa nousee usein esille eniten haasteita, koska tiettyä prosessia tai toimintatapaa käytetään ensimmäistä kertaa eikä käyttäjällä ole siitä aiempaa kokemusta. Pilottikohteissa nousee esille uuden prosessin tai toimintatavan kannalta tärkeitä kysymyksiä sekä se auttaa selvittämään asioita, joista ei vielä ole muodostunut tiettyä käsitystä. (Yin, 2009) Tässä tutkimuksessa on tarkoitus selvittää kohteen 1 yrityksen nykytilaa tahtituotannon näkökulmasta sekä löytää prosessin kannalta tärkeimmät ongelma-kohtat. Nykytilan arvioinnin sekä ongelma-kohtien havainnointien jälkeen voidaan kehittää tahtituotannon prosesseja sekä tuotantomallia toimivammiksi sekä tehokkaammiksi.

Tämän diplomityön tarkoituksena on selvittää tapaustutkimuksilla ilmiötä tosielämän yhteydessä sekä verrata tutkimuksesta nousseita havaintoja kirjallisuuteen sekä aiempiin tutkimuksiin. Tahtituotannosta löytyy jonkin verran aiempia tutkimustuloksia, mutta aihe on vielä rakennusosalalla melko tuore, joten tuotantomallin kehittämistä varten on lisäksi

selvitettävä tahtituotannon nykytilanne muissa yrityksissä sekä miten kyseistä mallia käytetään. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, miten kirjallisuudessa esitettyjä tuotantomalleja voidaan hyödyntää konkreettisesti käytännössä.

Tähän tutkimukseen valittiin kolme eri tapauskohdetta. Kohteen 1 osalta on tarkoitus selvittää kohteen tahtituotannon nykytila sekä haasteet. Kohde 1 on suunnittelututkimuksessa ensimmäinen vaihe eli ymmärrys tämän hetkisestä ongelmasta. Kohteiden 2 ja 3 osalta tutkitaan tarkemmin tahtituotannon prosessia sekä prosessin onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä. Kohteet 2 ja 3 on tarkkaan valittuja tutkimuskohteita, jolloin kohteiden tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Mikäli tutkimustulokset ovat yhteneväisiä, tulokset tukevat toisiaan, joka luo taas luotettavia sekä yleistettäviä tuloksia, joita voidaan hyödyntää myös kohteessa 1. Kohteita 2 ja 3 sekä kirjallisuutta käytetään hyödyksi muodostamaan ratkaisuehdotukset kohteelle 1.

2.2 Aineiston keruu ja analysointi

Tutkimusaineisto on kerätty kolmen eri tahtituotannon prosessin hyödyntävän projektin haastatteluiden sekä muusta aineistosta. Lisäksi tutkimusaineisto on kerätty asiantuntija-haastatteluiden pohjalta. Kohteen 1 tutkimusaineisto on kerätty Suomessa työmaalta saatujen dokumenttien, työmaavierailujen sekä pidettyjen haastattelujen pohjalta. Kohteiden 2 ja 3 aineisto on kerätty Pohjois-Kaliforniassa vierailun yhteydessä. Vierailu kesti kokonaisuudessaan kaksi viikkoa ja sisälsi työmaavierailukäyntejä sekä havainnointia paikan päällä, dokumenttien tutkimista vierailujen aikana ja sen jälkeen sekä haastatteluja paikan päällä. Lisäksi aineistopohjana on käytetty myöhemmin saatuja tarkennuksia, jotka on käyty vierailun jälkeen sähköpostin välityksellä. Asiantuntijoilta saama tieto on kerätty haastatteluiden pohjalta. Asiantuntijahaastattelut järjestettiin Pohjois-Kaliforniassa. Pohjois-Kaliforniassa kerätty aineisto on tehty yhdessä Tampereen Teknillisen Yliopiston diplomityöntekijän, Pekka Kujansuun, kanssa. Seuraavaksi esitellään tapaustutkimukselle käytettyjä aineiston keruutapoja

Yin (2009) esittelee kuusi tapaustutkimuksessa käytettyä aineiston keruutapaa. Yksi aineiston keruun periaatteista on useampien keruumenetelmien hyödyntäminen. Useamman keruumenetelmän käyttöä tutkimuksessa kutsutaan kolmioinniksi (Triangulation). Luotettavien ja syvällisempien tutkimustulosten varmistamiseksi, tapaustutkimuksessa suositellaan kolmioinnin käyttöä. Useamman keruumenetelmän käytön tärkeys korostuu varsinkin muihin tutkimusmenetelmiin verrattaessa. Kolmioinnin merkittävämpänä hyödynä pidetään yhtenäistä tutkimuksen kehitystä, joka on yksi kolmioinnin prosesseista. Tässä tutkimuksessa on käytetty kolmea Yin (2009) esittämistä aineiston keruumenetelmistä. Aineiston keruussa on hyödynnetty dokumentteja, haastatteluja sekä osallistavaa havainnointia.

Dokumentoinnin tiedon keruumenetelmän vahvuus on sen vakaus sekä mahdollisuus palata tarvittaessa tiedon pariin tutkimuksen myöhemmissäkin vaiheissa. Lisäksi dokumentit ovat konkreettisia ja niistä löytyy nimiä, lähteitä sekä yksityiskohtia eri tilanteista. Dokumentit ovat usein pidemmältä aikaväliltä ja niiden avulla voidaan tarkastella erilaisia seikkoja pitkiltäkin aikaväleiltä. Dokumenttien haasteina pidetään virheellistä tai puutteellista raportointia (koska raportointi riippuu kirjoittajasta sekä hänen taustastaan ja osaamisestaan), dokumentaatioon pääsyn vaikeus, osa dokumenteista voi olla vaikeasti löydettävissä sekä aineiston dokumentoinnin vajaavaisuus. (Yin, 2009)

Myös Saunders, Lewis ja Thornhill (2009) esittelevät kirjassaan tutkimusaineiston keruuta havainnoinnin kautta. Havainnointi voidaan toteuttaa eri tavalla, mutta tässä tutkimuksessa keskitytään osallistavaan havainnointiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että havainnoija osallistuu tilaisuuteen sivustakatsojana. Havainnoijan rooli sivustakatsojana on tutkimuksen kannalta erittäin toimiva rooli, sillä havainnoija voi keskittyä tutkijan rooliin sekä hänen fokus on täysin osallistujien kanssa käydyissä keskusteluissa. Kuten Yin (2009) osoitti, myös Saunders et al. (2009) pitää tämän aineiston keruumenetelmän haasteena toisesta osapuolesta saatavaa tietoa. Havainnoija ei voi täysin luottaa siihen, että osallistujat kertovat, minkälaisia tuntemuksia, mielipiteitä tai näkemyksiä käsiteltävät ongelmat sekä aihepiirit heissä aidosti herättävät. Osallistavassa havainnoinnissa aineiston keruu sekä analysointi on osa samaa prosessia eli aineistoa analysoidaan samanaikaisesti kuin sitä kerätään. Osallistavan havainnoinnin validiteettia lisää sen tapahtuman luonne sekä sen konteksti, sillä havainnoija tutkii sosiaalista ilmiötä sen luonnollisessa kontekstissa. Keruu- sekä analysointimenetelmän haasteita reliabiliteetin kannalta on havainnoitsijan puolueellisuus. Hänen omat kokemukset sekä tausta vaikuttaa tuloksiin tavalla, jolla hän itse ymmärtää sekä tulkitsee tuloksia. (Saunders et al., 2009)

Empiirinen aineisto on kerätty Suomessa ja Yhdysvalloissa puolistrukturoidulla haastattelulla. Puolistrukturoidussa haastattelussa tutkija ohjaa haastattelua ilman liiallista kontrollia ja sallii näin ollen haastateltavalle enemmän vapauksia kertoa aiheesta. (Koskinen et al., 2005) Haastateltava on haastattelun aikana aktiivisessa roolissa ja tutkija vain ohjaa haastattelua. Tämä mahdollistaa joustavan tiedonkeruun sekä monipuolisen vastausten tulkinnan. (Hirsjärvi et., 2009)

Haastattelun suurimpia vahvuuksia aineiston keruumenetelmänä on mahdollisuus keskittyä suoraan tutkimusaiheen osa-alueisiin. Haastattelujen ansiosta pystytään myös ymmärtämään haastateltavien vastausten sekä päätelmien syitä sekä taustoja. Haastattelumenetelmän heikkouksia pidetään puolueellisia vastauksia, artikulaation aiheuttamien väärinkäsityksiä/johtopäätöksiä, vastaajasta johtuvia epätarkkuuksia ja halu antaa sellaisia vastauksia, joita hän olettaa haastattelijan haluavan kuulla. Osallistavan havainnoinnin tärkeimpiä hyötyjä on todellisuus, sillä havainnointi tapahtuu reaaliajassa, oikeassa ympäristössä/kontekstissa sekä havainnoin aikana on mahdollisuus tutkia tarkemmin ihmisten välistä käyttäytymistä sekä motiiveja. Osallistavan havainnoinnin heikkoutena pidetään havainnoijan mahdollisuudesta vaikuttaa tapahtumiin haluamallaan tavalla joko tahallisesti tai tahattomasti. (Yin, 2009)

Tässä tutkimuksessa aineisto on kerättyä käyttämällä teemahaastattelua, joka on kvalitatiivinen aineiston keruumenetelmä. Teemahaastattelu on yksi kolmesta haastattelumuodoista. Teemahaastattelulla tarkoitetaan sitä, että haastattelijalla on lista teemoista ja kysymyksistä, jotka voivat vaihdella haastattelusta toiseen. Teemahaastattelut käydään kasvokkain ja haastattelumenetelmä on siten myös avoin tarkentaville kysymyksille, joka mahdollistaa syvällisemmän tutkimuskysymysten tutkimisen jokaisen haastattelun kannalta sopivilla lisäkysymyksillä. Teemahaastattelujen avulla voidaan ymmärtää ilmiön eri muuttujien keskinäisiä suhteita. Kvalitatiivinen haastattelumenetelmä auttaa tutkijaa ymmärtämään syitä haastateltavan näkemyksiin sekä taustoja, miten on päädytty erilaisiin päätöksiin sekä ratkaisuihin. Teemahaastattelu antaa mahdollisuuden haastateltavalle selittää sekä tarkentaa vastaustaan. Tämä voi johtaa haastatteluissa siihen, että keskustellaan asioista, jotka eivät ole aikaisemmin ilmenneet, mutta ovat kuitenkin ilmiön kannalta tärkeitä ymmärtää. (Saunders et al., 2009) Tässä tutkimuksessa käydyt haastattelut ovat käyty kasvokkain haastateltavien kanssa.

Teemahaastattelun aineiston keruumenetelmä sopii kompleksisten ja määrittelemättömien ilmiöiden sekä tapahtumien tutkimiseen. Kyseinen menetelmä mahdollistaa tarvittaessa kysymysten järjestyksen sekä logiikan muuttamisen. Haastattelumenetelmä on lisäksi joustava valinta myös haastateltavan kannalta, sillä haastattelulle varataan erikseen aika ja se pidetään haastateltavalle sopivalla ajalla. Todennäköisesti haastateltava ei ole kiireen tai stressin vaikutuksen alaisena haastattelun aikana, sillä hän on itse päässyt vaikuttamaan haastattelun ajankohtaan. Lisäksi haastattelujen vahvuutena pidetään niiden joustavuutta. Haastateltavat ovat halukkaampia osallistumaan tutkimukseen, jos he pääsevät pohdiskelemaan syitä tapahtumille heidän omien kokemustensa perusteella, mutta heidän ei tarvitse itse kirjoittaa mitään. (Saunders et al., 2009)

Teemahaastattelujen reliabiliteettiin voi vaikuttaa kysymyksien standardisoinnin puute. Toisaalta havaitut olosuhteet ovat kompleksisia sekä dynaamisia eikä standardisointi mahdollista kompleksisten ilmiöiden tai tapahtumien tutkimista syvällisellä tasolla. Teemahaastattelun validiteettiin vaikuttaa vastaanottajan oma tausta eli vastaanottaja voi ymmärtää kysymyksen/vastauksen eri tavalla kuin olisi tarkoitus. Tämä ongelma kuitenkin poistuu, kun kysymykset esitetään selvästi, vastauksen tarkoitus selvitetään, esitetään tarvittaessa tarkentavia kysymyksiä sekä aiheita käsitellään eri näkökulmista. (Saunders et al., 2009) Tässä tapaustutkimuksessa haastateltavat henkilöt ovat esitetty taulukossa 1 sekä haastattelurunko liitteessä 3. Haastattelurungon mukaisia teemoja käytiin haastateltavien kanssa läpi. Poikkeuksena haastateltava 6, 10 ja 13 joiden kanssa keskusteltiin heidän näkemyksistään tahtituotannosta. Myöskään haastateltavien 1 ja 2 kanssa ei haastattelurunkoa käyty läpi sillä heidän antamista tilannetiedoista on esitetyt kysymykset osittain luotu. Haastateltavat 6 ja 10 edustavat kohteissa urakoitsijoita, joten heille ei voitu käyttää samaa haastattelurunkoa.

Taulukko 1. Tapaustutkimuksissa haastateltavat henkilöt

Haastateltava	Työnimike	Kohde
H1	Työmaapäällikkö	Kohde 1
H2	Projekti-insinööri	Kohde 1
H3	Tuotantoinsinööri	Kohde 2
H4	Projekti-insinööri	Kohde 2
H5	Työnjohtaja	Kohde 2
H6	Urakoitsijan Projektipäällikkö	Kohde 2
H7	Työnjohtaja	Kohde 3
H8	Projekti-insinööri	Kohde 3
H9	Lean Manager	Kohde 3
H10	Urakoitsijan Projekti-insinööri	Kohde 3
H11	Professori	Asiantuntija
H12	Director of Production Innovation	Asiantuntija
H13	Tohtoriopiskelija	Asiantuntija

2.3 Tutkimuskohteiden valinta

Tutkimuskohteet voidaan valita haastattelijan omaan harkintaan perustuvan valinnan perusteella (Purposive Sampling). Haastattelija valitsee tapaukset, jotka mahdollistavat parhaiten vastaukset tutkimuskysymyksiin. Harkintaan perustuva otanta toimii parhaiten tapaustutkimuksissa, jossa otanta on pieni. On tärkeää valita tapaukset, jotka tuottavat teorettista dataa. Harkintaan perustuva otantaa ei välttämättä voida ajatella edustavan koko ryhmää eikä näin ollen välttämättä voida yleistää tutkimustuloksia koko ryhmälle sopiviksi. (Saunders et al., 2009)

Tutkimuksen lähtökohtana on käytetty tahtituotannon tilannetta SRV Rakennus Oy:ssä. Yrityksen projekteista valikoitui tutkimukseen mukaan kohde 1, jossa tahtituotannon prosessia oli käytetty eniten ja pisimmälle. Kohde 1 antaisi diplomityölle hyvän pohjan selvittää, mitkä ovat kyseisen prosessin tämänhetkiset ongelmakohdat ja minkälaisissa tahtituotantoon liittyvissä asioissa projekti kaipaisi lisää tukea sekä tietoa. Kohteen 1 projektioorganisaatio on saanut jonkun verran tukea sekä tietoa tahtituotantoon liittyvissä asioissa. Projektin jäsenet olivat erittäin innokkaita oppimaan lisää tahtituotannon implementoinnista sekä halukkaita saamaan uusi prosessi toimimaan myös käytännössä. Kohde 1 oli hyvä tutkimuskohde myös siitä syystä, että samankaltaisia toimistorakennuksia rakennetaan lisää ja yritys voikin hyödyntää tutkimustuloksia myös muissa samankaltaisissa projekteissa.

Kohde 2 ja 3 valikoitui tutkimuskohteiksi, sillä kohteet edustavat isoja ja haastavia rakennuskohteita, joissa tahtituotannon prosessi on jo käytössä. Pohjois-Kaliforniassa on tahtituotannon prosessia tutkittu sekä teoriassa että käytännössä jo jonkin aikaa, joten sieltä löytyy paljon myös alan parasta osaamista sekä asiantuntemusta. Lisäksi osa haastateltavista on ollut mukana tutkimassa ja luomassa Kalifornian mallia tahtituotannolle. Kohteet 2 ja 3 ovat hyviä tutkimuskohteita myös siitä syystä, että kohteissa on käytetty paljon aikaa sekä resursseja tahtisuunnitteluun ja sen implementointiin. Kohteet toteutetaan tilaajan ja pääurakoitsijan halusta tahtituotantona alusta loppuun asti, jolloin kohteiden haasteista sekä onnistumisista saa hyvän kokonaiskuvan. Tämä seikka lisää myös tahtituotannon eri vaiheiden tutkimuksen luotettavuutta. Kohteet 2 ja 3 valikoituivat mukaan tutkimukseen myös siitä syystä, että kohteet olivat itsekin halukkaita osallistumaan tutkimukseen ja niiden työmaille oli helppo päästä keräämään aineistoa. Lisäksi tutkimusotannassa on otettu huomioon myös asiantuntijoiden näkökulma, koska he ovat rakennusosalalla tahtituotannon ja Lean ajattelumallien uranuurtajia Yhdysvalloissa. Asiantuntijoilla on ajankohtainen tieto tämänhetkisestä tahtituotannon yleisestä tilasta sekä heillä on kokonaisvaltainen näkökulma tahtituotantoon liittyen.

3 Tahtituotanto

Tahtituotannosta on keskusteltu paljon Lean rakentamisen tutkijoiden ja ammattilaisten keskuudessa. Tahtiajan käyttäminen on yksi Lean tuotannon tärkeimmistä metodeista. Tahtiajan käyttäminen prosesseissa estää ylituotannon, läpimenoajat lyhenevät ja työprosessit tasapainottuvat. Hukkaan vaikuttavat ajat, kuten varastointi ja odottaminen työvaiheiden välissä vähenee. Tavaroiden siirto ja työryhmien siirtyminen saadaan optimoitua jatkuvalla virtauksella sekä tuotantokapasiteetti kasvaa. (Haghsheno, Binner, Dlouhy & Sterlike, 2016) Tahtituotannon hyödyiksi Haghsheno et al. (2016) sekä Chauhan et al. (2018) listaa lisääntyneen taloudellisen toteuttamiskelpoisuuden, paremman laadun ja ajallaan valmistumisen. Tahtituotanto pitää sisällään sekä tahtisuunnittelun että tahtivonnan. Ymmärtääkseen tahtituotantoa rakennusosalalla osana Lean tuotantoa on seuraavaksi tarkoitus avata Lean ajattelua ja sen pääperiaatteita sekä Lean ajattelun ominaisuuksia rakennusteollisuudessa. On tärkeää myös määrittää rakennusosalalle tietyt ominaisuudet, joita tulee ottaa huomioon uuden tuotantomallin jalkauttamisessa.

3.1 *Lean ajattelu*

Lean -ajattelumalli on kehitetty Japanissa autovalmistajan Toyota Motor Corporationin tuotannon valmistusta varten. Lean -ajattelumallin avulla kehitetyt innovaatiot on otettu käyttöön Toyotalla aikavälillä 1930-1970 (Fujimoto, 1999; Tezel et al. 2017). Toyotan tarkoituksena oli kehittää ja parantaa autojen massatuotannon mahdollisia käytäntöjä Yhdysvalloissa. (Fujimoto, 1999) Keskustelu Lean -ajattelumallin käytöstä rakennusosalalla on lähtöisin 1990-luvun alkupuolelta. (Koskela, 1992) Tarve Lean -ajattelumallin hyödyntämisestä rakennusosalalla johtui rakennusteollisuuden monenlaisista ongelmista projektien tehokkuuden osalta. Matalat tuotot, hidas reagointikyky muutosten osalta, pirstoutunut toimitusketju sekä väliaikaiset tuotantokokoonpanot, jotka ovat alttiita monille hallitsemattomille tekijöille ovat yleisiä ongelmia rakennusosalalla. (Tezel et al., 2017)

Lean -ajattelumallin konseptien ja periaatteiden soveltamista rakennusosalalla kutsutaan Lean rakentamiseksi (Lean Construction) (Koskela, 1992). Heylin ja Teizerin (2017) mukaan Lean -ajattelumallilla suunnitellut rakennusprojektit voidaan ymmärtää tilapäisinä tuotantosysteeminä, jotka poistavat hukkaa, mahdollistavat yhteistoiminnallisen työskentelyn ja optimoivat arvoketjun rakennetta. Lean rakentaminen on lähestymistapa, jolla voidaan tuotantosysteemeissä minimoida materiaalien, ajan sekä työskentelyn hukkaa. Näin pystytään tuottamaan projektissa mahdollisimman paljon lisäarvoa. (Heylin & Teizer, 2017) Lean rakentaminen tärkeimpinä periaatteina pidetään tuotteen muutosta (transformation), virtausta sekä arvon luomista. Suomessa Lean rakentaminen omaksuttiin 1990-luvun alkupuolella. (Koskela, 2000)

Lean -ajattelussa on viisi pääperiaatetta, joiden toteutusta täytyy seurata oikeassa järjestyksessä. Tällöin pystytään hyötymään parhaiten Lean -ajattelun tuomista hyödyistä. Nämä viisi pääperiaatetta ovat (Womack & Jones, 1996): (1) Arvon määrittäminen, (2) Arvovirran tunnistaminen, (3) Virtauksen luominen, (4) Imuohjaus ja (5) Täydellisyyteen pyrkiminen. Näitä pääperiaatteita käydään seuraavaksi läpi. Pääperiaatteet käydään läpi, jotta voidaan varmistaa Lean ajattelun perusteiden ymmärtäminen. Lean työkalujen käytössä on hyvä ymmärtää mitä niillä tavoitellaan. Pääperiaatteella on vaikutusta myös tahtituotannon ymmärtämiseen.

Ensimmäisenä on arvon määrittäminen. Asiakkaalle on arvokkainta, mikä on tuotteen lopputulos, muttei millaisia muutoksia tuotteelle tehdään. Asiakkaalle onkin tärkeintä,

että lopputuote vastaa hänen toiveita sekä vaatimuksia. Toimittajan tulee luoda arvoa asiakkaalle tuotteiden ja palvelujen kautta. (Koskela, 2000) On kuitenkin huomioitava, että jokainen yritys määrittää arvon kuitenkin omalla tavallaan (Womack & Jones, 1996). Arvon määrittäminen ja sen mittaaminen on haasteellista. Koskela (2000) nostaa esille aiemman tutkimuksen, missä arvo määritellään hinnalla, jonka asiakas maksoi tuotteesta. Tämä ei kuitenkaan anna täysin oikeanlaista ymmärrystä tuotteen arvosta. Tuotteen absoluuttisen arvon laskemiseksi on kehitetty erilaisia menetelmiä. (Koskela 2000)

Arvovirran tunnistaminen voidaan jakaa kolmeen kategoriaan. Arvovirran tunnistamisen ensimmäisessä kategoriassa on arvoa lisäävät tekijät. Toisessa kategoriassa ovat tekijät, jotka eivät lisää arvoa, mutta ovat välttämättömiä. Kolmantena ovat tekijät, jotka eivät lisää arvoa eivätkä ole välttämättömiä eli sellaiset, jotka voidaan poistaa. (Womack & Jones, 1996) Sellaisia välteltäviä prosesseja, jotka eivät tuota arvoa tuotteelle tai prosesseille ovat ohituotanto, ylituotanto, materiaalien varastointi, turhat prosessit, materiaalien kuljettaminen, työntekijöiden ja tuotteiden liikkuminen sekä standardien tai asiakkaan vaatimusten vastaisten tuotteiden valmistaminen. (Shingo, 1989; Koskela, 2000) Arvovirran tunnistamisen prosessin jälkeen voidaan siirtyä käyttämään seuraavaa kolmea periaatetta, mutta vasta tämän prosessin jälkeen. (Soto, 2007)

Virtauksen luominen vaati edellisten vaiheiden läpikäynnin, kuten aiemmin mainittiin. Ilman edellisiä vaiheita ei virtausta voi toteuttaa onnistuneesti. Virtauksen luomisessa on tärkeää varmistaa, että virtaus on jatkuvaa sekä prosesseissa että arvoketjussa. (Soto, 2007) Tärkeimpiä periaatteita virtauksen luomisessa ovat hukan, läpimenoajan ja vaihtelevuuden vähentäminen sekä joustavuuden ja läpinäkyvyyden lisääminen. Näiden lisäksi on myös prosessin yksinkertaistaminen vähentämällä vaiheita, osia ja sidoksia. (Koskela, 2000)

Imuohjauksen (Pull Production) tarkoituksena on tuottaa asiakkaalle juuri sitä mitä hän tarvitsee täsmälleen silloin kun hän sitä tarvitsee. (Marzouk, Bakry & El-Said, 2011) Imuohjauksessa prosessi aikataulutetaan lopusta alkuun, jossa aloitetaan toimituspäivästä ja siirrytään kohti tuotannon käynnistämistä. Imuohjauksen tarkoitus on esimerkiksi vähentää ylimääräistä varastointia ja samalla säästää kustannuksissa. (Marzouk et al., 2011) Last Planner System on yksi työkalu imuohjaukseen, jonka tarkoituksena on tuottaa ennustettava työvirta ja nopeaa oppimista rakennusalaalla. (Kalsaas, Skaar & Thorstensen, 2015)

Soto (2007) on osoittanut tutkimuksessaan kolme ominaisuutta, jotka ovat tarpeellisia imuohjausta varten. Ensimmäinen ominaisuus on synkronointi (Synchronization), joka tarkoittaa yhdistettyjen prosessien tahtiaikojen järjestämistä oikeanlaisella ajoittamisella. Toinen ominaisuus on järjestys (Alignment), jolla tarkoitetaan tehtävien oikeaa sijoittamista ja järjestystä, jotta imuohjauksen toteutus olisi mahdollista. Kolmas ominaisuus on avoimuus (Transparency). Avoimuudella tarkoitetaan prosessin kokonaiskuvan havainnointia ilman esteitä, jotta ongelmien tunnistaminen onnistuisi mahdollisimman nopeasti sekä tehokkaasti. (Soto, 2007)

Täydellisyyteen pyrkiminen tähtää täydelliseen lopputulokseen sekä jatkuvaan parannukseen. Onnistumisen kannalta on tärkeää ymmärtää, että prosessi on tänään epätäydellinen ja se tarvitsee jatkuvaa tarkastelua (Soto, 2017). Täydellisyyteen pyrkiminen on jatkuva prosessi, jolla tähdätään vaivannäön, ajan, tilan, kustannusten, virheiden ja hukan vähentämiseen. Samanaikaisesti asiakkaalle tarjotaan juuri mitä asiakas haluaa, (Marzouk et al., 2011)

3.2 *Rakennushankkeen ominaisuuksia*

Tässä luvussa käsitellään rakennushankkeiden ominaisuuksia, jotta voidaan myöhemmin ymmärtää Lean ajattelua rakennusteollisuudessa. Eri toimialalta omaksuttuja toimintatapoja ja työkaluja varten tulee ymmärtää tietyn toimialan ominaisuuksia.

Ballardin & Howellin (1994) mukaan rakentaminen voidaan ajatella tuotteen kehitysprosessina. Prosessi lähtee tuotesuunnittelusta ja kehittyy prosessisuunnittelun kautta toimittilaksi. Epävarmuus on välttämätön osa rakennushanketta, joka voidaan ymmärtää myös tuotekehitysprosessina. Prosessin tarkoitus on tuoda esille ja ratkaista ongelmia sekä tehdä valintoja toimintatavan sekä lopputuloksen välillä.

Rakennushankkeita pidetään epävarmoina ja monimutkaisina. Haasteita luo rakennuksen eri osien määrä, standardoinnin suhteellinen puute, suuri osallistujamäärä hankkeessa sekä erilaiset rajoittavat tekijät. Monimutkaisuutta lisää vielä hankkeen taloudellinen paine aikataulun ja kustannuksen minimoimisen suhteen, joka aiheuttaa taas hankkeelle lisää epävarmuustekijöitä. (Ballard & Howell, 1994) Rakennushankkeen rajoittavia tekijöitä ovat taloudelliset rajoitteet, oikeudelliset rajoitteet, ympäristörajoitteet, tekniset rajoitteet sekä sosiaaliset rajoitteet. (Lau & Kong, 2006)

Rakennushankkeen monimutkaisuutta ja haasteita lisäävät projektin tavoitteiden muuttuminen. Tavoitteet voivat muuttua vielä siinä vaiheessa, kun selviää tavat, joilla kyseisiin tavoitteisiin on tarkoitus päästä. On otettava huomioon, että joskus suunniteltuun rakennustapaan voi tulla merkittäviä odottamattomia muutoksia. Esimerkiksi myöhästyneiden materiaalitoimitusten takia on muutettava rakennusjärjestystä, kustannusarviota tai työn kestoa. Näin ollen on riski, ettei suunniteltua rakennustapaa voida toteuttaa täysin suunnitelmien mukaisesti. Projektien epävarmuutta lisää virtauksen epävarmuus. Mitä suurempi virtauksen epävarmuus on, sitä suurempi on työvoiman resursoinnin epävarmuus. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että urakoitsijat eivät voi olla varmoja, riittääkö työntekijöille aina töitä. (Ballard & Howell, 1998)

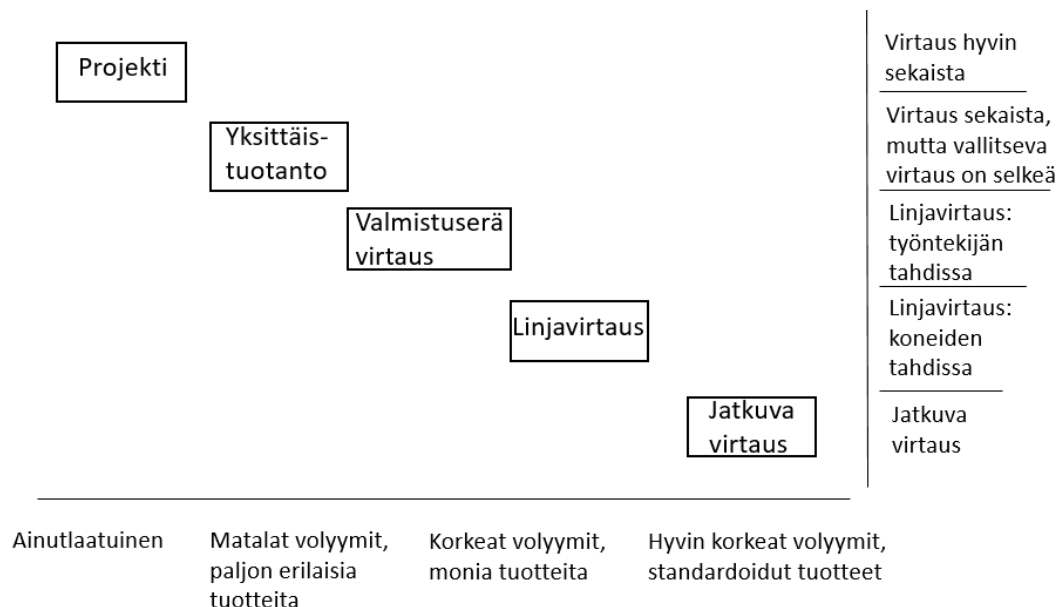
Rakennushankkeille ovat ominaisia myös työtunnit, jotka käytetään muuhun kuin rakentamiseen. Näitä työtunteja kutsutaan hukaksi. Hukka usein jakautuu koko projektin kestolle. (Koskela, 2000) Hukka vaikuttaa negatiivisesti rakennuskustannuksiin, arvon luontiin ja tuottavuuteen. (Chun & Cho, 2015) Hukan eliminointi saavuttaa tuotteelle ideaalisen kustannuksen. Hukka aiheuttaa myös turhaa ajan kulutusta, joka ei tuota tuotteelle arvoa. Turha ajankulutus pidentää projektin läpimenoaikaa. (Soto, 2007) Koskela (1992) mainitsee yhdeksi merkittävämmäksi rakennusalan hukan aiheuttajaksi laadun.

Alarconin (1997) mukaan hukkaa voivat aiheuttaa monenlaiset eri syyt tai tekijät. Hukka voi liittyä esimerkiksi virtaukseen, johon vaikuttaa resurssit sekä informaatio. Muutoksesta johtuva hukka voi johtua työtavoista, suunnittelusta sekä laadusta. Johtamisesta johtuvat hukat liittyvät taas vahvasti päätöksentekoon sekä tehottomaan valvontaan. Koskela (2000) mukaan hukkia ovat korjaustyöt, materiaalien odottaminen sekä hävinneet tuotteet. Nämä vaikuttavat suoraan tuottavuuden vähenemiseen. Formoson, Isatton ja Hirotan (1999) mukaan rakennustyömaalla hukat ovat materiaaleihin liittyviä hukkia, kuten ylituotanto, odotusaika, materiaaliliike, varastointi sekä materiaalien perässä liikkuminen. Muita hukkia ovat rakennettavuus suunnitelmien mukaisesti, materiaalien hallinnointi (kuten myös Formoso et al., 1999) sekä varsinaiseen työntekoon käytetty aika. (Koskela, 1992)

3.3 Lean ajattelu rakennusteollisuudessa

Lean -ajattelumallin tuominen tuotantoteollisuudesta rakennusteollisuuteen on herättänyt keskustelua jo 1990-luvulla (Koskela, 1992; Ballard, 1997; Tommelein, 1998). Rakennusalalla on ollut vastarintaa hyväksymään uusia ideoita tuotantoteollisuudesta, mikä on rajoittanut Lean rakentamisen hyväksyntää. (Soto, 2007) Tuotantoteollisuudessa tuote liikkuu liukuhihnalla, rakennusalalla ei. Tuotantoteollisuudessa työn optimoinnin helppompi ja yksinkertaisempi toteuttaminen johtuu myös automaation laajasta käytöstä. Rakennusteollisuudessa suunnitelmia ei suunnitella täysin loppuun asti, kun taas tuotantoteollisuudessa tuotannon suunnitelmat viedään aina loppuun asti ennen kuin voidaan aloittaa varsinainen valmistusprosessi. (Sacks, 2016) Tämä luku esittää Lean ajattelua rakennusteollisuudessa. Ymmärtääkseen uuden ajattelutavan tuomista toiselle toimialalle on luvussa esitetty Lean ajattelun eroja tuotantoteollisuudessa ja rakennusteollisuudessa.

Rakentamisvirtaus (Construction Flow) on termi, jota ei ole määritelty kunnolla. Sen määrittelyn tekee haastavaksi perusteellinen ero tuotteen virtauksen tuotantolinjan läpi tehtaalla verrattuna urakoitsijoiden (Trade Crew) virtaukseen tilojen läpi rakennustyömaalla. Virtauspolkua kutsutaan arvovirraksi (Rother, Shook & Womack, 2003). Eroavaisuutena tuotantoteollisuuden ja rakennusteollisuuden tuotteen virtauksessa on se, että rakennusteollisuudessa työntekijät liikkuvat työasemalta toiselle, kun taas tuotantoteollisuudessa työntekijä pysyy koko ajan määrätyllä työasemallaan (Salem, Solomon, Genaidy & Minkarah, 2006). Toinen eroavaisuus on se, että rakennusteollisuudessa itse tuote ei liiku, kun taas tuotantoteollisuudessa tuote liikkuu liukuhihnalla pitkin. Toisin kuin tuotantoteollisuudessa tuote ei ole virtaavaa, sillä rakennusteollisuudessa tuote ei siirry tilasta toiseen. Rakennusteollisuudessa virtausta voidaankin ajatella ajallisena virtauksena. Rakentamisteollisuuden tuotantoprosessi eroaakin ominaisuuksiltaan merkittävästi tuotantoteollisuuden prosessista, sillä rakentaminen on projektiluontoista tuotantoa, jossa tuote nähdään ainutlaatuisena. (Sacks, 2016)



Kuva 1. Tuotantosysteemit esitettynä tuoteprosessimatriisina, mukailten (Sacks, 2016)

Sacks (2016) mukaan tällainen näkemys rakennusalasta projektiluontoisena, ainutlaatuisena tuotteena ja sekavana virtauksena on kuitenkin kapeakatseista. Prosessien kautta tarkasteltuna rakennusprojekti muodostuu tiloista, joissa on vaihtelevasti yhteneväisyyttä. Myöskään Soton (2007) mielestä tämä näkemys ei ole täysin totta, sillä projektista toiseen

on jatkuvuutta sekä toistuvuutta. Rakennustuotantoa voidaan kuvailla tuotantona, joka on valmistuserävirtaus (Batch Flow) tai linjavirtaus (Line Flow), joka on esitetty kuvassa 1. Toimintamalliltaan urakoitsijoiden moniprojektinen näkemys asettaa urakoitsijat kuvan skaalalla linjavirtauksen kohdalle, sillä urakoitsijat tuottavat suuria volyymejä lähes samanlaisia tuotteita eri projekteihin. (Sacks, 2016)

Rakennusprojektit eivät ole yhtenäisiä, mitä tulee prosessituotantomatriisiin. Rakennusprojektissa joudutaan ensin rakentamaan tuotantolaitos, mikäli tuotantolaitosta ei ole aikaisemmin ollut paikan päällä. Toinen tärkeä havainto on, että rakennusvaiheet ja -prosessit ovat luonteeltaan erilaisia. Rakenteelliset työt tulee tehdä tietyssä järjestyksessä teknisten rajoitusten mukaan. Samanlaisia teknisiä rajoituksia ei, Sacksin (2016) mukaan, ole talotekniikan tai sisäviimeistelyviimeistelytyöiden osalta. Eri työvaiheet, kuten rakenne, talotekniikka ja viimeistely, voidaan jakaa prosessituotantomatriisissa eri kohtiin, jolloin pystytään ottamaan huomioon niiden erilaiset tuotantovirtaukset. (Sacks, 2016)

Rakennusalalla tapahtuu paljon työasemalle palaamista, jossa työntekijä on jo työskennellyt eri prosessin vaiheessa. Työasemalle palaaminen tekeekin tuotannonohjauksesta erityisen haastavan varsinkin resurssien jakamisen suhteen. Työryhmät tulisi jakaa siten, että uusille työryhmille avautuu jatkuvasti uusia työpisteitä, jolloin kaikki työryhmät pystyvät tekemään työtä ilman keskeytyksiä. Mikäli tilassa ei kuitenkaan ole tilaa työskennellä, työryhmät joutuvat palaamaan työpisteelle useamman kerran. (Brodetskaia, Sacks & Shapira, 2013) Työpisteelle palaaminen johtuu yleensä jo tehdyn työn korjauksesta, työn laadun katselmoinnista tai liian aikaisesta työn suorittamisesta. Työasemalle palaaminen voi johtua myös suunnittelu virheestä. (Soto, 2007; Ballard, Kim, Jang & Liu, 2007) Työpisteelle palaamisella on kuitenkin vaikutus myös toiminnan kannalta, sillä se aiheuttaa katkonaista työskentelyä. (Sacks, 2016)

Rakennusteollisuudelle ainutlaatuista on sen toteuttaminen jakamalla työt työtehtäviin, jotka jaetaan eri urakoitsijoiden kesken. Nämä urakoitsijat ovat erikoistuneet omaan osa-alueeseensa. Näin ollen pääurakoitsijan ei tarvitse ymmärtää yksittäisen prosessin yksityiskohtia, vaan optimoida omat työpaketkinsa. Urakoitsijoilla on omat erilliset sopimukset, joita tehdään pääurakoitsijan johdolla. Urakoitsijoiden sopimukset laaditaan urakoitsijakohtaisesti projektin tietyille työvaiheille, jolloin systemaattinen yhteistyö sekä kehitys rajoittuvat tietyille työmaalle (Binner et al., 2016). Urakoitsijat eivät yleensä keskustele keskenään, jolloin usein lopputuloksena on työn katkoksia. Kokonaisuuden yhteensovittamisesta tulee näin ollen haastavampaa. (Forbes & Ahmed, 2011)

Lean ajattelun käyttöönotossa rakennusteollisuudessa nähdään myös haasteita. Tuotantoteollisuudesta tuotuja konsepteja kuten eräkoon pienentäminen, keskeneräisen tuotannon vähentäminen, pohjapiirustuksen yksinkertaistaminen nähdään haasteellisina toteuttaa niin erilaisessa ympäristössä kuin tehtaalla. (Koskela, 1992)

3.4 Tahtituotannon historia

Tahti sana on tullut latinankielestä, josta se on saksan kielen kautta käännetty englanninkieliseksi sanaksi ”beat”. Saksalainen sana ”takt” tarkoittaa rytmiä tai tahtia, joka voidaan ymmärtää säännönmukaisuutena, jolla jokin saadaan tehtyä. Tahtia pidetään impulssin luojana, joka laukaisee tietyn yhtenäisen aikavälin toiminnon. Tahtiaika on kahden sykäyksen välissä oleva aikaväli. Taloustieteellisin termein tahtiaika on ajan yksikkö, jossa tuote valmistetaan (tarjonta), joka vastaa asiakkaiden tarvetasoa eli kysyntä. (Haghsheno et al., 2016; Frandson, Berghede & Tommelein, 2014)

Ensimmäisiä kirjallisia tietoja löytyy tahtituotannosta jo 1500-luvulta, kun Venetsiassa tuotettiin kauppalaivoja ja sotalaivoja tahdistettuna. Venetsian kaupungilla oli kova tarve rakentaa nopeasti uusia laivoja, joten jatkuvan tuotannon malli kehitettiin vastaamaan kysyntään. 1900-luvun alussa tahdin käyttö kasvoi merkittävästi teollisuuden toimialalla. Tunnetumpia tahtituotannon käyttäjiä oli autoteollisuudesta tuttu Henry Ford, jonka yrittäjä, Ford, otti ensimmäisenä käyttöön massatuotannon tuotantolinjoillaan. Tuotantolinjojen käyttö edesauttoi tuotantokapasiteetin kasvua ja näillä toimenpiteillä Fordin oli mahdollista valmistaa autoja tehokkaammalla aikataulua sekä pienemmillä resursseilla kilpailijoihin verrattuna. (Haghsheno et al., 2016)

Lentoteollisuus on toinen teollisuuden toimiala, joka otti tahdin käyttöön jo aikaisessa vaiheessa. Lentoteollisuudessa ensimmäinen maa, jossa tahti otettiin käyttöön, oli Saksa. Tahtia käytettiin tarkkana aikavälinä synkronoimaan lentokonerungon liikkumista tuotantolaitoksen läpi. Jokaisen tahdin jälkeen runko siirtyi tuotantolinjan seuraavaan vaiheeseen. Saksalainen lentoteollisuus ja Mitsubishi tekivät yhteistyötä varsin teknisellä tasolla ja näin tahtiopit otettiin käyttöön myös Japanissa. Tahdin saapuessa Japanin markkinoille, Toyota otti tahdin osaksi Toyota Production System tuotantoaan. Womack ja Jones (1996) mainitsivat kirjassaan Lean -ajattelutavan (Lean Thinking), joka nosti esille yhteyden imu- ja työntöohjauksen perusteista. Tahtia pidettiin työkaluna, jolla voitiin saavuttaa Lean -ajattelumallin peruserätykset. (Haghsheno et al., 2016)

Rakennusala Saksassa tahdin perusteita ei pidetä uutena ilmiönä. Tahtiaikatauluttaminen mainitaan vuoden 1970 betonituotantoon liittyvässä väitöskirjassa, jonka on kirjoittanut Adolf Schub. Saksalaisen Lean -ajattelumalliin perustuvan liikkeen (The German Lean Movement) menetelmissä tärkeitä olivat sopimusmallit sekä yhteistyöhön perustuva lähestymistapa kuten Last Planner System (LPS). Näiden menetelmien pohjalta jatkokehitettiin muita metodeja sekä lähestymistapoja, joista yksi perustuu toiminnalliseen tahditettuun systeemiin. Osana tahditettua systeemiä oli tahtiaikataulutus ja -ohjaus. Työn tahdittamisen idea osana Lean Constructionia on luoda arvoa lisääviä toimintoja koko prosessiketjun ajan. Arvonlisäyksen lisäksi prosessin lyhyiden kontrollointisyklien yhdistelmä on ollut käytössä Saksassa vasta noin 10 vuotta. Monet yritykset ovat siitä lähtien lisänneet resursseja ja fokusta työn tahdittamiseen. (Binninger, Dlouhy & Haghsheno, 2017)

Työtehtävien tahdistaminen tietylle tasolle ei myöskään pidetä uutena ilmiönä Yhdysvalloissa. Ensimmäisiä viittauksia työtehtävien tahdittamisesta on Empire State Buildingin rakentaminen. (Frandsen & Tommelein, 2014) Yhdysvalloissa on tehty tutkimuksia jo 2000-luvun alussa (kuten Ballard, 2001), jotka viittaavat tahtituotantoon tasaisen virtauksen tuotantona asuntorakentamisessa. Tahtituotantoa on käytetty Yhdysvalloissa menestyvästi asuntorakentamisen lisäksi moduulitalojen tuotannossa sekä valtateiden rakentamisessa jo 2000-luvulla. (Frandsen, Berghede & Tommelein, 2013) Tahtituotannon prosesseja Yhdysvalloissa on julkaistu jo 2013 (Frandsen et al., 2013) vuodesta lähtien.

3.5 Tahtisuunnittelu

Tahdilla on ennalta määritetty toistuva prosessi, jonka sykli on aina saman pituinen. Tahdin laajuuden määrittää tuote eli rakennusala rakennus, johon vaikuttaa rakennuksen ulkomuoto. Työn sisältö voi tahdin määrittämissä alueissa vaihdella. (Haghsheno et al., 2016) Tahti ja virtaus ovat sekä keskeisiä että tärkeitä asioita rakennustuotannon prosessissa. Rakennusala virtausta voi analysoida tietyssä yksikkönä. Tahtiaika on työkalu, jolla muodostetaan perusta sille, kuinka paljon työtä täytyy tuotantosysteemin läpi virrata

tietyssä ajassa. Tahtiaika toimii suorana linkkinä asiakkaan ja tuotantosysteemin välillä sekä määrittää tuotantosysteemin rytmin. (Fiallo & Howell, 2012)

Tahtisuunnittelu nähdään työn suunnittelun menetelmänä, jonka avulla saadaan suunniteltua jatkuva virtaus tuotantosysteemiä varten. (Frandsen & Tommelein, 2014; Haghsheno et al. 2016) Tavoitteena on luoda tuotantosuunnitelma, joka tarjoaa annetussa ajassa tietylle työlle tasapainotetun työvirtauksen. Tasapainotetulla työvirtauksella tarkoitetaan toimenpiteitä, joilla pyritään kehittämään tasainen tahti urakoitsijoiden työtehtäville. Tarkoituksena on, että jokainen urakoitsija työskentelee eri alueiden sekä vaiheiden läpi tasaisella etukäteen määritetyllä tahdilla. Tahtisuunnittelun avulla urakoitsijoiden on saatava työtehtävät valmiiksi jokaisella alueella (tahtialue) annetussa ajassa (tahtiaika). Jokaisen projektin osalta luodaan omat vakioparametrit sekä tahtiajalle että -alueelle, jotka pysyvät vakioina koko vaiheen läpi. Lisäksi tahtisuunnittelussa käytetään puskureita, jonka avulla saadaan mahdollisimman luotettava sekä toimiva suunnitelma työn valmistumisen osalta. Tahtisuunnittelussa työtehtävät pyritään suunnittelemaan niin, että urakoitsijat alikuormittavat tuotantoyksikkönsä (Tommelein 2017). Tällä suunnittelulla tähdätään siihen, että työ suunnitellaan noin 70 tai 80 prosentin tasolla. Luotettavuuden varmistamiseksi on tarkoitus etsiä kaikki mahdolliset variaatiota eli poikkeamia aiheuttavat tekijät, jotka on poistettava. Yksi tekijä variaatiolle on työtiheys. Työtiheydellä tarkoitetaan tilannetta tietyllä alueella. Tilanne perustuu työn määrään tietyllä alueella yhtä urakoitsijaa kohden, asennusryhmien kokoon, osaamiseen sekä urakoitsijan toimintatapoihin. Eri alueilla ja urakoitsijoilla voi olla erilaiset työtiheydet, josta esimerkkinä on sähkötila tai sairaalan leikkaustila. (Frandsen, Seppänen & Tommelein, 2015)

3.5.1 Tahdin määrittäminen

Tahtia määrittäessä on otettava huomioon, mitä hienommin tai tarkemmin tahti on säädetty tahti, sitä tasaisempi on tahdin taso. Tarkkaan säädetty tahti kasvattaa myös systeemien työnohjauksen tasoa. Tämä taas vaikuttaa siihen, että työnohjaukseen vaadittu työ kasvaa. Tuotantoteollisuudessa tahtiaika määritellään usein sekunneissa tai minuuteissa. (Binner et al., 2017) Tutkijat ovat eri mieltä rakentamiseen sopivan tahtiajan pituudesta. Kaiser (2013) esitti, että rakennusalaalla sopivin tahtiaika olisi yksi viikko. Hänen mielestään alle kahden päivän tahtiaika voi osoittautua liian haasteelliseksi rakennusalaalla. Binner et al. (2017) esittää myös viikon tahtiaikaa rakennusprosessin epätasapainoisten ominaisuuksien vuoksi, sillä tahtiaika on erittäin riippuvainen systeemin ja tuotteen vaihtelevuudesta sekä tasapainoisuudesta. Linnik, Berghede & Ballard (2013) esittivät sairaalarakennuksessa myös viiden päivän tahtia. Yhtenä syynä he mainitsevat alueiden luovuttamisen viikoittaisella rytmillä seuraavalle urakoitsijalle, jolloin luovutus tapahtuu suunnitellusti ja järjestelmällisesti samana viikonpäivänä koko prosessin ajan. Kahden päivän tahtiaikaa esittivät Frandsen & Tommelein (2014) terveydenhuolto laitoksen saneerauksessa. Binner, Dlouhy, Muller, Schattmann & Haghsheno (2018) esittivät tapaustutkimuksen, jossa käytettiin yhden tunnin tahtiaikaa lyhyt kestoisessa projektissa. Heinonen & Seppänen (2016) esittivät laivasaneerauskohteen tahtiajaksi 15 minuuttia.

Tahtiajan määrittämisessä voi esiintyä haasteita kysynnän määrittämisen osalta. Yksi vaihtoehto kysynnän määrittämiselle on löytää riittävä aika, joka tarvitaan työn loppuunsaattamiseksi sekä vahvistaa kyseinen suunnitelma tahtiajan osalta. Toinen vaihtoehto on selvittää hitaimman urakoitsijan kapasiteetin lisäämisen toteutuskelpoisuus. Hitain urakoitsija toimii yleensä prosessin pullonkaulana ja hidastaa prosessia, jolloin kaikkien vas-

tuulla on parantaa tuotantotahtia siten, että se liikkuu tahtiajan kanssa samassa aikataulussa. Lisäksi voidaan ennakoimalla asettaa aikataululle tavoitteita, jotka toimivat myös aikarajana. Täten voidaan selvittää toimintojen tuotantotahti, jossa toiminnot ovat säädetty toteutettavissa olevan tahtiajan mukaisesti. Rakennustuotannossa työ jaetaan tehtäviin ja vaiheisiin. Sen jälkeen, kun tarvittavat työtehtävät sekä resurssit ovat tiedossa, voidaan selvittää urakoitsijoiden tarvitsema aika tietyn työtehtävän suorittamiseen. (Yassine, Bacha, Fayek & Hamzeh, 2014)

Rakennusprojektissa tahti ja tahtialueet määräytyvät rakennuksen geometrian ja muotojen mukaan. Tahdin määrittämiselle on olemassa myös rajansa. Tietyn työtehtävän suorittamiseksi tarvitaan tietyn verran työvoimaa tai vaihtoehtoisesti työryhmän koko määrittää tahtialueen pienimmän mahdollisen koon. On varmistettava, että tahtiaika on linjassa asiakkaan vaatimusten kanssa. Mikäli on riski, ettei valitsemassa tahdissa päästä asiakkaan vaatimaan tavoitteeseen, tahtiaikaa voidaan tarvittaessa säätää vähentämällä puskureita, optimoimalla tai kiihdyttämällä tuotantoa. Tahtia voidaan säätää kolmella eri tavalla. Tarvittavaa aikaa voidaan joko lisätä tai vähentää lisäämällä tai vähentämällä työvoimaa. Työpaketit tai työvaiheet voidaan liittää yhteen, jolloin tehdään yksi tahti kahden tahdin sijaan. Työvaiheita voidaan muuttaa, optimoida tai korvata eri materiaaleilla tai eri toimintatapoja käyttämällä. Tahdin laskentaa varten käytetään seuraavaksi esitettyä kaavaa. (Haghsheno et al., 2016)

$$\text{Tahtiaika} = \frac{\text{Tahtialue (m}^2\text{)} * \text{Työmenekki } (\frac{h}{m^2})}{\text{Käytetty työvoima}}$$

3.5.2 Tahtisuunnittelun menetelmät

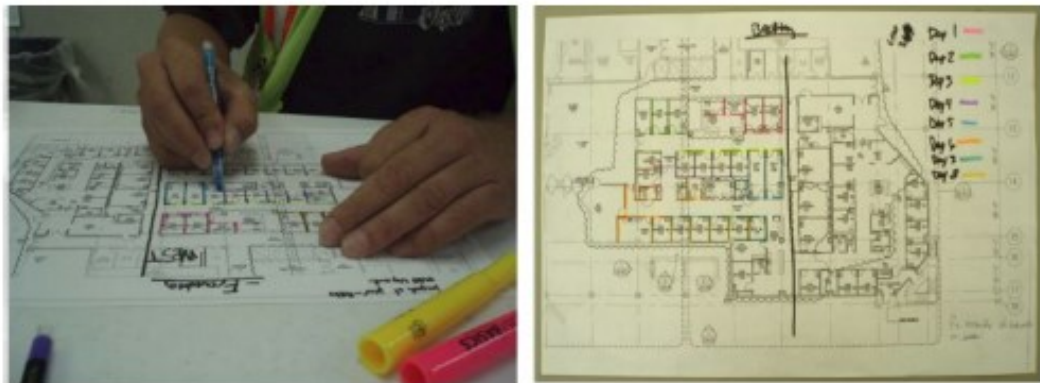
Kalifornialainen malli

Yassine et al. (2014), Linnik, Berghede & Ballard (2013) sekä Frandson et al. (2013) mukaan tahtisuunnitelma pitäisi luoda hyödyntäen kuuden vaiheen prosessia. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa kerätään tietoa, toisessa vaiheessa määritetään tahtialue, kolmannessa vaiheessa luodaan työjärjestys työvaiheittain, neljännessä vaiheessa tasapainotetaan työn virtaus, viidennessä vaiheessa määritetään työvaiheiden aika sekä kuudennessa vaiheessa luodaan lopullinen tuotantosuunnitelma. Linnik et al. (2013) prosessi eroaa hieman tästä kuuden vaiheen prosessista, mutta pitää sisällään samat asiat. Eroavaisuutena on ensimmäinen vaihe, joka on rakennuksen aluejaon määrittäminen. Frandson et al. (2013) osoittaa tutkimuksessaan, että prosessi tarvitsee monia iterointikertoja, vaikka vaiheet ovat esitetty peräkkäin. Näissä tutkimuksissa esitetty prosessi nimetään tässä työssä nimellä Kalifornialainen malli.

Tommelein (2017) on tutkinut tahtisuunnittelua lisää ei-toistuvissa tiloissa yhteistoiminnallisella tahtisuunnittelulla. Yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu on tarkoitus kehittää edelleen Kalifornialaista mallia ei-toistuviin tiloihin. Haasteena rakennusallalla ovat projektit, joissa on paljon aluekohtaista vaihtelevuutta kokonsa ja työmäärän puolesta. Tällaisissa tiloissa tai työtehtävissä ei ole havaittavissa toistuvuutta. Toistuvuutta ja tasaisuutta omaavat projektit ovat Tommeleinin (2017) mukaan suhteellisen suoraviivaisia tahtisuunnittelun osalta. Yhteistoiminnallisessa tahtisuunnittelussa on tarkoitus löytää toistuvuutta ei-toistuvissa töissä työn tiheyden perusteella. Yhteistoiminnallista tahtisuunnittelua tehdään yhdessä projektin eri osapuolten kanssa ja käytetään avuksi urakoitsijoiden erityistä osaamista. Määritetään yhdessä työnjako osiin sekä työjärjestys. Yhteistoiminnallinen prosessi eroaa aiemmin esitetystä, sillä siinä on viisi vaihetta. Vaiheet ovat

hyvin samanlaisia kuin kuuden vaiheen prosessissa. (Tommelein, 2017) Näin ollen niitä esitetään yhdessä kuuden vaiheen prosessin kanssa seuraavissa kappaleissa.

Ensimmäinen vaihe on tiedonkeruu. Tieto tulee kerätä jokaiselta urakoitsijalta erikseen yksi kerrallaan ja heidän kanssa on selvitettävä, mitä työtä pitää tehdä missäkin prosessin eri vaiheessa. Frandson et al. (2013) ja Linnik et al. (2013) mukaan paras tieto sekä osaaminen löytyvät juuri sen alan asiantuntevilta urakoitsijoilta. Onkin erittäin tärkeää hyödyntää heidän tietotaitojaan koko prosessin ajan. Tommeleinin (2017) mukaan tiedonkeruun ensimmäinen osa koostuu suunnitelmasta, joka tarjoaa urakoitsijoille kokonaisvaltaisesti tietoa työn laajuudesta. Yhdessä urakoitsijoiden kanssa pohjakuviin merkitään värikkäillä kynillä, kuinka paljon urakoitsija pystyy asentamaan yhden päivän aikana (kuva 2). Merkinnät tehdään yhteistyössä pääurakoitsijan tai tahtisuunnitelman tekijän sekä urakoitsijan kanssa. Tahtisuunnitelman tekijä voi avustaa urakoitsijaa esittämällä erilaisia tarkentavia kysymyksiä, jotka helpottavat suunnittelua. Jokainen urakoitsija pitäisi erottaa pohjakuvissa tietyllä personalisoidulla värillä, jotta suunnitelmasta pystyttäisiin helposti ja nopeasti erottamaan jokaisen urakoitsijan tarvitsemat tuotantosuunnitelmat sekä työhön tarvittavat ajat. Pohjakuvien merkinnät tuovat tärkeitä tietoja tahtisuunnitelman tekijälle ja auttaa häntä ymmärtämään työn luonnolliset pysähdyskohdat. (Frandson et al., 2013) Yassine et al. (2014) mukaan tiedonkeruu voidaan tehdä Last Plannerilla. Tommelein (2017) esittää, että on myös tärkeää huomioida urakoitsijan edustajan kanssa erilaisia ja vaihtoehtoisia lähestymistapoja, joka lisäisi myöhemmässä vaiheessa joustavuutta ja työtehtävien helpompaa yhteensovittamista.



Kuva 2. Tiedonkeruuta pohjakuviin merkityillä asennus kestoilla. (Frandson et al., 2013)

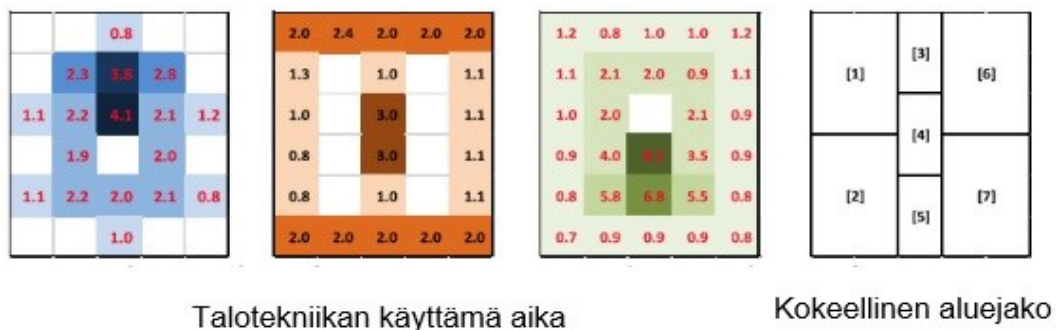
Tiedonkeruun vaihetta seuraa vaihe, jossa määritetään tahtialueet. Tahtiajan määrittämistä varten tarvitaan tieto, kuinka paljon yksi urakoitsija tarvitsee aikaa työn valmiiksi saattamiseen tietyllä alueella. Tässä vaiheessa ei kuitenkaan voida vielä määrittää tarkkaa tahtiaikaa, sillä paljon olennaista tietoa puuttuu vielä. Ennen tahtiajan määrittämistä pitää jakaa alueet sellaisiin osiin, joissa työtehtävien suorittaminen kestää kaikilta urakoitsijoilta yhtä kauan. (Frandson et al., 2013) Kaikissa tahtialueen tiloissa pitää olla sama tuotantotaso tietylle työvaiheelle (Yassine et al., 2014). Tahtialueiden jako voidaan tehdä urakoitsijoilta saatujen pohjakuvamerkintöjen perusteella. Pohjakuvat laitetaan päällekkäin ja kuvien pohjalta selvitetään, missä osissa rakennusta on minkälainen työtiheys. Frandson et al. (2013) ja Tommelein (2017) prosessin erona toisessa vaiheessa on se, että Tommelein esittää tähän vaiheeseen myös tahtiajan määrittämisen.

Kolmantena vaiheena on työnteon järjestäminen työvaiheittain oikeaan järjestykseen, joka vaatii asianomaista tietämystä sekä ymmärrystä. Ymmärryksen lisäämistä varten järjestetään erilaisia koordinoititapaamisia ja yhteistyö kaikkien urakoitsijoiden välillä on erittäin tärkeässä roolissa. Tässä vaiheessa pitää selvittää eri vaiheiden kannalta kriittiset

tekijät eli esimerkiksi missä järjestyksessä työtehtävät suoritetaan ja kuinka monta eri työtehtävää yhdellä urakoitsijalla on yhdellä alueella. (Frandsen et al., 2013) Työnteon järjestyksen suunnittelemista varten voi käyttää Last Planner Systemiä, jolloin imuohjaussuunnitelma määrittää työjärjestyksen. (Linnik et al., 2013) Last Planner Systemin tarkoituksena on suunnitella työtä tarkemmin lähempänä itse työn aloitusta, tehdä työsuunnitelma yhteistoiminnallisesti urakoitsijoiden kanssa, tunnistaa ja poistaa työtehtävien rajoitteet yhdessä, tehdä ja varmistaa luotettavia lupauksia sekä oppia tehtävien erittelystä. (Ballard et al., 2010) Tommelein (2017) mainitsee myös imuohjaussuunnitelman tekemisen tärkeänä tekijänä yhteisymmärryksen osapuolten välillä. Imuohjaussuunnitelman teossa voidaan kehittää työtapoja edelleen, kuten esimerkiksi esivalmistuksen käyttöä nopeuttamaan työvaihetta.

Työn virtauksen tasapainottamista varten tarvitaan tahtialueita ja työjärjestystä. Kolmannessa vaiheessa selvitetään, mitkä työtehtävät tulee suorittaa nopeammin ja mitkä hitaammin. Tahtialueita muokataan ja kehitetään tässä vaiheessa uusien tietojen mukaan. (Frandsen et al., 2013) Työn virtauksen tasapainottamisesta tulee myös urakoitsijoilta pyytää palautetta ja varmistaa sitoutuminen (Tommelein, 2017). Lisäksi tässä vaiheessa tunnistetaan pullonkaulatyövaiheet sekä parannetaan ja kehitetään aikaa vievien töiden tuotantotasoa. (Yassine et al., 2014)

Työvaiheiden ajan määrittäminen eli tahtiajan luonti tapahtuu työn virtauksen tasapainottamisen jälkeen. Prosessia tasapainotetaan edelleen tahtiajan muokkaamisella tarpeen vaatiessa useita kertoja. Näin saadaan tarkempia arvioita ajasta, joka urakoitsijalla kuluu tiettyjen tehtävien suorittamiseen. Tahtiaikaa iteroimalla varmistetaan suunnitelman paikkansapitävyys sekä toteutettavuus. (Frandsen et al., 2013) Iteroinnilla määritetään ensisijaisesti tahtiaika, mutta kyseisen toiminnan avulla saadaan myös tietoa, kuinka suunnitelmaa voisi kehittää sekä parantaa. (Yassine et al., 2014) Kuten aiemmin todettiin Tommelein (2017) ehdotti tahtiajan määrittämisen jo aiemmassa vaiheessa ja työtiheyden perusteella saatiin määritettyä tahtiaika. Työtiheys saatiin laittamalla pohjakuvat päällekkäin. Kuvassa 3 esitetään työtiheyden perusteella saatavat ajat eri alueilla. Kuvassa olevat numerot esittävät aikaa, joka työtehtävien suorittamiseen urakoitsijoilla kuluu tietyllä alueella. Kuvassa 3 esitettyjen tietojen perusteella kehitettiin kokeellinen aluejako. Aluejaon jälkeen määritettiin iteroimalla tahtiaika, johon oli asetettu ajallinen yläraja sekä vähäinen työvoiman aliresurssointi. (Tommelein, 2017) Tahtialueet pitää tarkistaa pullonkaulatyövaiheen mukaan, jolloin työmäärää voidaan vielä tasoittaa alueittain (Linnik et al., 2013)



Kuva 3. Työtiheyden perusteella saatavat ajat eri alueilla. (Tommelein, 2017)

Kalifornialaisen mallin tahtisuunnitelman viimeinen vaihe on tuotantosuunnitelman luonti ja hienosäätö. Tahti, jolla työt etenevät tasapainotetulla virtauksella alueiden läpi,

luo kokonaisvaltaisen tahtiajan tölle. Tahtialueet voidaan tällä tuotantotasolla jakaa pienempiin tahtiajan osiin. Tahtiajan jakaminen pienempiin osiin helpottaa työnohjausta, alueiden valmiusasteiden ennustamista sekä tahtiajan saavuttamista annetussa ajassa. (Frandsen et al., 2013) Tahtisuunnitelmaa voidaan lisäksi käyttää apuna resurssien määrittämiseen ja materiaalitoimitusten ajoittamiseen. Tahtisuunnitelman avulla myös suunnittelijat saavat tiedon, mitä tarvitaan missäkin vaiheessa. Näin ollen suunnittelijat pystyvät ottamaan nämä seikat suunnitelmissaan huomioon. (Linnik et al., 2013) Tahtisuunnitelmaa voidaan käyttää apuna tuotantotason vaihtelun ennakointiin sekä suunnittelemaan tarvittavia toimenpiteitä vaihtelua varten (Yassine et al. 2014). Kuva 4 osoittaa hienosäätöä vaille valmiin tahtisuunnitelmaa. Valkoiset laatikot voidaan täyttää muiden urakoitsijoiden töillä tai jättää varamestaksi. Hienosäädön lopputuloksena on tahtiaikataulu. (Tommelein, 2017)



Kuva 4. Hienosäätöä vaille valmis tahtisuunnitelma. (Tommelein, 2017)

Saksalainen malli

Dlouhy, Binninger, Oprach ja Haghsheno (2016) esittävät tutkimuksessaan uudenlaisen menetelmän tahtisuunnitteluun ja -ohjaukseen. Tässä kappaleessa keskitytään tämän menetelmän tahtisuunnitteluosioon. Menetelmä jaetaan kolmeen eri tasoon: makro-, normi- ja mikrotasoon. Makrotasolla tarkoitetaan prosessianalyysiä, jonka aikana selvitetään tavoitteet rakennuksen eri tiloille. Tarkoituksena on selvittää jo projektin alkuvaiheessa asiakkaan toiveet sekä vaatimukset rakennuksen tilojen suhteen. Asiakkaan vaatimukset vaikuttavat työjärjestysten sekä tahtialueiden lähtöpaikkojen valinnassa. Normitasolla tarkoitetaan tahtisuunnittelua, jonka tarkoituksena on hyödyntää asiakkaan antamia tietoja tilojen vaatimuksista sekä toiveista. Alueelliset sekä ajalliset jaot tehdään makrotason mukaisesti. Tahtisuunnitelmassa hyödynnetään tahtijunia, joita liikutetaan tahtialueilta seuraavalle. Tahtijunat kuvaavat työvaiheita, jotka pitävät sisällään työtehtäviä (vaunuja). Käytännössä tahtijunien siirtämisellä tahtialueelta seuraavalle tarkoitetaan työryhmien työn edistymistä työvaiheittain sekä siirtymistä alueelta seuraavalle. Viimeinen vaihe on mikrotaso, jossa tahtiohjaus on keskeisessä roolissa. Tahtiohjausta käydään läpi (luvussa tahtiohjaus) tarkemmin läpi.

Saksalainen tahtisuunnittelun malli eroaa aiemmin esitetystä Kalifornialaisesta mallista. Binninger, Dlouhy ja Haghsheno (2017) ovat kehittäneet 12 vaiheen mallin, jonka tavoite on tuottaa projektille työsuunnitelma. Mallin ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus jakaa rakennus toiminnallisiin työalueisiin. Työalueen kokonaisuus sisältää monia työtehtäviä sekä työvaiheita läpi koko rakennusajan. Toisessa vaiheessa tilaaja ja asiakas suunnittelevat työvaiheita. Asiakas kertoo alueiden valmistumisen osalta tärkeysjärjestyksen. Vaiheet kolme, neljä ja viisi ovat vahvasti sidoksissa toisiinsa. Kolmannessa vaiheessa valitaan yksi tahtialue, neljännessä vaiheessa määritetään pienimmät toistettavat tilat (Standard Space Unit) alueelle ja viidennessä vaiheessa määritetään tarkennetut työpaketit. Työpaketeilla tarkoitetaan kaikkia töitä, jotka pitää tehdä yhdessä tilassa. Binninger et al. (2017) tutkimuksessa kyseinen määrittäminen tehtiin ns. työpajassa ja työvaiheet käytiin läpi käänteisessä järjestyksessä eli imuohjauksen kautta.

Mallin kuudes vaihe on laskennallinen vaihe ja vaihe sisältää määrälaskentaa. Tilan töitä varten saadaan tarvittavat tiedot kertomalla määrät suoritekertoimella. Tämä vaihe on

Binninger et al. (2017) mukaan koko prosessin tärkein vaihe. Seitsemännessä vaiheessa suoritetaan tarkempi määrittäminen työpaketeille. Käytännössä yksittäisiä töitä yhdistetään kokonaisiksi työvaiheiksi. Esimerkiksi ovipakettiin kuuluvia töitä ovat ovien asennusten lisäksi myös karmien ja ovilehtien asennukset. Kahdeksannessa vaiheessa projektin pienimmät toistettavat tilat järjestetään käytännöllisiin tahtialueisiin ja niille määritetään tahtiaika edellisten vaiheiden pohjalta. Tahtiaika määritetäänkin usein asiakkaan tarpeen mukaisesti jo hyvin aikaisessa vaiheessa. Tahtialuemäärittämisessä käytetään taas laskelmointia. Yhdeksännessä vaiheessa säädetään työvoiman resurssointia, monistetaan vaunuja, lisätään puskureita sekä muutetaan tarvittaessa työtehtävien/-vaiheiden järjestystä. Kymmenennessä vaiheessa luodaan toimiva tahtijuna. Lisäksi tässä vaiheessa yhdistetään työpaketteja, jotta työpaketit muodostaisivat yhdessä optimaalisia kokonaisuuksia. Yhdennessätoista vaiheessa suoritetaan kaikki vaiheet vaiheista neljästä kymmenenteen uudelleen kaikille tahtialueille. Viimeisessä vaiheessa viimeistellään lopullinen tahtisuunnitelma, joka toimii havainnollistettuna tahtiaikatauluna.

Kahden menetelmän vertailu

Kalifornian ja Saksan malleilla on muitakin eroja kuin tahtisuunnittelun vaiheiden määrä. Kalifornian mallissa suuri panostus tahtisuunnitelmaan tulee urakoitsijoilta, joiden kanssa yhdessä luodaan tuotantos suunnitelma heidän antamien tietojen perusteella. Saksalainen malli taas perustuu enemmän laskelmiin, kuin urakoitsijoiden antamiin tietoihin työnsä kestosta. Saksalaisessa mallissa myös tuodaan esille toistuvuutta tiloissa, kun taas Kalifornian mallissa tähdätään yhteistoiminnallisuuteen. Tommeleinin (2017) tuomalla tutkimuksella voidaan tahtisuunnittelua toteuttaa myös projekteissa, joissa on vähemmän toistuvuutta tiloissa. Pääosin menetelmissä kuitenkin tehdään samoja asioita ja lopputuloksena on tahtiaikataulu.

3.5.3 Tahtiaikataulu

Tuotannon aikataulu on tuotantosysteemin suunnitelman lopputulos. Tuotantoaikataulun tieto saadaan heiltä, jotka tekevät aikatauluun merkityt työt. Tietoja antavat tekijät voivat kuvailla vaihtoehtoisia työtapoja sekä miten he haluaisivat tehdä annetun työn. Tuotantoaikataulun teossa on tärkeää kuunnella juuri näitä töitä tekeviä ja on tärkeää tietää tarkalleen ketkä ovat mukana esimerkiksi eri alojen urakoitsijat. Lopputuloksena halutaan, että kaikki osapuolet ovat sitoutuneena tähän aikatauluun. Tuotantoaikataulu tehdään vaihe kerrallaan ja käytetään hyväksi annettuja välitavoitteita. (Frandsen et al., 2013) Tahtiaikataulun teon vaiheet on kuvattu aikaisemmin kahdella eri menetelmällä. Kalifornian malli painottaakin yhteistoiminnallisuutta. Aikatauluttamista varten täytyy suunnitella työtehtävät, työtehtävien verkko tai jatkumo sekä siihen liittyvät työalueen luovutukset seuraavalle urakoitsijalle, puskureiden sisältäminen aikatauluun sekä varmistaa työn valmistuminen ajoissa. (Biotto, Kagioglou, Koskela ja Tzortzopoulos, 2017)

Kuvassa 5 on esitetty esimerkki tahtiaikataulusta. Vaaka-akselilla on esitetty yhden alueen työt tahtiajan kuluessa eli ajallinen dimensio. Pystyakselilla on yhden tahtiajan aikana tehtävät työt eri alueilla eli alueellinen dimensio. (Dlouhy et al., 2018) Yksi tahti kuvastaa yhtä työpakettia ja sille on oma värinsä (Dlouhy et al., 2016), kuten tahtisuunnitteluvaiheessa pohjakuvien merkinnässä jokaisella urakoitsijalla on oma värinsä (Frandsen et al., 2013). Tahtivaunu on yksi tahti, joka tehdään tietyllä alueella tiettyyn tahtiaikaan (Dlouhy et al., 2016)

	Tahtiaika						
	TA 1	TA 2	TA 3	TA 4	TA 5	TA 6	TA 7
Tahtialue	Alue 1	Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3	Tahti 4		
	Alue 2		Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3	Tahti 4	
	Alue 3			Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3	Tahti 4
	Alue 4				Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3
	Alue 5					Tahti 1	Tahti 2
	Alue 6						Tahti 1

Kuva 5. Tahtiaikataulun esimerkki (mukaillen Dlouhy et al. 2016; Dlouhy et al. 2018)

Puskurit

Kahden työtehtävän välissä olevaa aikaa kutsutaan Lean menetelmien mukaan puskuriksi. Tarkemmin määriteltynä puskurin aika on väli edellisen työvaiheen valmistumisen ja seuraavan työvaiheen alkamisen välissä. (Moura, Monteiro & Heineck, 2014) Tahti itsessään luo ns. kelluvan puskurin. Kelluvalla puskurilla tarkoitetaan sitä, ettei tahdin sisällä olevat työt saa ylittää ajallisesti tahtiaikaa. Tahdin sisältämät työt ovat alle tahdijan. Todellisuudessa tehtävä työ vie vähemmän aikaa kuin on annettu, joten siitä syntyy jo itsestään puskuria. Kiinteänä puskurina voidaan käyttää esimerkiksi viikonloppua. (Haghsheno et al., 2016)

Tahtisuunnittelussa käytetään myös kapasiteettipuskuria, jolla tarkoitetaan urakoitsijan suunniteltua kapasiteetin vähentämistä 70 tai 80 prosenttiin. Kapasiteettipuskurilla voidaan vähentää työn variaatiota alueiden välillä. Varamestat toimivat myös puskurina tahtisuunnittelussa (Frandsen, Seppänen & Tommelein, 2015) Varamestojä voidaan käyttää silloin kuin työntekijöillä loppuu tila työntekoon ja he muuten lähtisivät työmaalta pois. (Seppänen, 2014) Varamestojen työt voidaan jättää tahdin ulkopuolelle. (Frandsen et al., 2015) Puskureita voidaan luoda mahdollisten työtehtävien väliin ajallisesti eli aikataulullisesti vaakatasossa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että puskur sijoitetaan edellisen ja seuraavan työvaiheen väliin samalla alueella. Toinen vaihtoehto on luoda puskureita ns. aikataulullisesti pystysuuntaisena, jolloin työtehtäviä suoritetaan samanaikaisesti eri alueilla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että puskur muodostuu toisessa vaihtoehdossa siitä, kun ensimmäisessä huoneessa tehdään töitä ja samanaikaisesti tehdään töitä myös toisessa tilassa. Tämä aiheuttaa myös ajallisen puskurin. (Moura et al., 2014)

3.6 Tahtiohjaus

Tahtituotannon onnistumiselle suuri vaikutus työntekijöiden motivointi. Motivointia voidaan lisätä osallistamalla työntekijöitä ongelmanratkaisuprosessiin ja tahtitapaamisiin. (Binner et al., 2017) Onnistuminen vaatii myös jokaisen urakoitsijan pääsyn tahtiaikaan eli alueiden luovutusajankohtaan. Tämä tarkoittaa taas sitä, että aikataulun ohjaus on kriittistä tahtiaikaa lyhyemmissä sykleissä, jotta voidaan ennakoida tulevia luovutusajankohtaan vaikuttavia tekijöitä. (Frandsen et al., 2015) Lyhytsyklisyyden takia havainnointi sekä ohjaus ovat yksittäisten työpakettien kohdalla hyvin tärkeitä. Nämä keinot mahdollistavat kalliiden ohjaustoimenpiteiden vähentämisen. (Haghsheno et al., 2016; Binner et al., 2017) Binner et al. (2015) tutkimuksessa on havaittu, että lyhytsyklisessä tuotannonohjauksessa käytetään keskimäärin 46,6 prosenttia työajasta ohjaukseen. Perinteisellä prosessilla käytetty aika on keskimäärin 27,8 prosenttia työajasta. (Haghsheno et al., 2016) Seuraavaksi on esitetty tahtiohjaukselle tärkeitä teemoja.

Päivittäisjohtaminen

Tahtiohjaus on vastuussa tuotannon tasapainottamisesta, jota korostetaan jo tahtisuunnittelussa. Tahtiohjauksessa myös kaikki urakoitsijat toimivat osana hallintaprosessia, jotta kehitys olisi prosessissa jatkuvaa. Ohjauksen ylläpitämistä varten onkin järjestettävä hyvin tärkeitä päivittäisiä tahtitapaamisia. Päivittäistä tahtitapaamista johtaa työmaapäällikkö ja pääurakoitsijoiden lisäksi tapaamiseen osallistuvat jokaisen urakoitsijan työnjohtajat. (Haghsheno et al., 2016; Binninger et al., 2017) Päivittäiset tapaamiset tarjoavat edellytykset lyhytsykliiseen työohjauksen implementointiin. (Haghsheno et al., 2016) Saksalaisen tahtituotantomallin mikrotaso on tahtiohjausta ja se sisältää yksityiskohtaisesti sekä normitason että hallinnan prosessipaketteja, jotka muodostuvat työn toteutuksessa. Toteutuksen hallinnointi tapahtuu päivittäisten lyhytsyklisten tahtitapaamisten aikana, jotka kestävät noin 15 minuuttia. Tapaamisen aikana kerätään tiedot ylös sekä dokumentoidaan. Tahtitapaamisissa käsitellään todellisen työn dokumentointia sekä toimenpiteitä, joilla voidaan saavuttaa normitason vaatimukset. (Dlouhy et al., 2016) Seuraavaksi esitetään ohjaustoimenpiteitä haasteille, joita voi tulla esille tahtitapaamisten aikana.



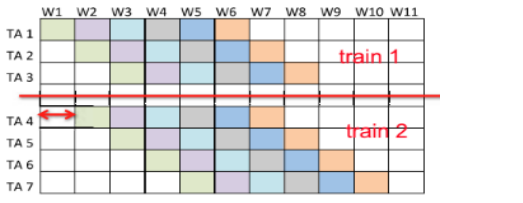
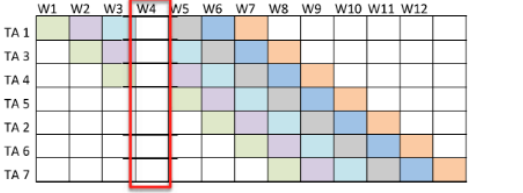
Ohjaustoimenpiteet

Kuten aiemmin mainittiin, tahdin avulla on mahdollista päästä tarkkaan ja lyhytsykliiseen tuotannonohjaukseen. Johtuen lyhyistä sykleistä, edellisellä työtehtävällä on merkittävä vaikutus seuraavaan työtehtävään. Mahdolliset häiriöt ovat nähtävissä jo prosessin aikaisessa vaiheessa. Tahtisuunnitelma on toteutussuunnitelma, joka kehittyy jatkuvasti läpi prosessin tahtiohjauksen mukana. Tahdin lyhytsykliisyyttä varten on tahtisuunnittelussa ja tahtiohjauksessa käytettävä eri ohjaustoimenpiteitä. (Haghsheno et al., 2016; Binninger et al., 2017)

Rakennustyömaat ovat dynaamisia systeemejä, jotka vaativat jatkuvaa aikataulun hienosäätöä. Tutkimusten mukaan jokaisessa projektin vaiheessa esiintyy muutoksia sekä sovittelua. Myös Seppänen (2012) toteaa, ettei aikatauluilla ole suurta arvoa, jos rakennusprosesseja ei ohjata asianmukaisesti. Binninger, Dlouhy, Steuer ja Haghsheno (2017) tutkivat ohjaustoimenpiteiden käyttöä tahtituotannossa. He osoittivat tutkimuksessaan viisi tahtituotannossa eniten käytettyä ohjaustoimenpidettä (taulukko 2). Seuraavaksi esitetään Binninger et al. (2017) tutkimuksessa esitettyjä tahtituotannossa käytettyjä ohjaustoimenpiteitä. Taulukossa 3 on esitetty myös muita ohjaustoimenpiteitä.

Taulukko 2. Tahtituotannossa eniten käytettyjä ohjaustoimenpiteitä (Binninger et al., 2017)

Ohjaustoimenpide	Selite	Kuva
Tahtialueen irtikytkentä	Tiettyä tahtialuetta ei päästä tekemään tahtijunan mukaisessa järjestyksessä, jolloin tahtialue siirretään myöhemmäksi.	

Vaunupuskuri	Suunniteltupuskuri esim. kuivumisaika, jolle on annettu yhden tahdin verran puskuria, joka alueella. Puskuria voidaan myös käyttää ongelmien havainnointiin ja ennakointiin	
Työvaiheiden yhdistäminen	Tarkoituksena on yhdistää samankokoisia tuotantoeriä, joilla on sama tahtiaika. Pyritään vähentämään aikataulun tyhjiä kohtia.	
Pehmeä aloitus	Tuotanto voidaan jakaa eri tahtijuniin esim. kerroksittain, jolloin ensimmäisen ja toisen junan aloituksen välissä on esim. yksi tahti	
Junan pysäytys	Johtaa rakennustöiden ja prosessin pysähtymiseen. Syynä on yleensä jokin ongelmatilanne tai haaste, jota ei voida ratkoa työtehtävän tahdin sisällä.	

Taulukko 3. Tutkimuksessa havaittuja ohjaustoimenpiteitä (Binner et al., 2017)

Ohjaustoimenpiteet	Selite
Kova aloitus (Hard Start)	Useampi juna aloittaa työt samaan aikaan
Pysyvien puskureiden sijoitus	Yhden tai useamman junan perään suunnitellaan puskuriksi lisää aikaa
KIT Move	Yhdistetään useampia työpaketteja hyödyntääkseen koko vaunun tahtiaikaa
”Shunting Yard”	Hyödyntää vapaana olevaa prosessijärjestystä
Tahtialueiden jakaminen/kasvatus	Pienentää tai kasvattaa tahtialueita
Vaunun aliurakointi	Tehdään yksittäisten vaunujen työt aliurakoinnilla
Materiaalien/logistiikan jako	Erotetaan arvoa luovat tehtävät ja logistiset tehtävät
Useamman junan käyttö	Enemmän kuin yhden junan käyttö, jotta parannetaan työntekijöiden ja urakoitsijoiden tehokkuutta
Juna-asema	Suunnitellaan uudestaan työjärjestyksen prosessi
Pysyvien puskureiden käyttö	Junan perään lisätään puskuri
Työpakettien kiihdytys	Vaunun työpakettien tavoitteen optimointi
Työpakettien siirto	Työpakettien siirto toiseen vaunuun
Vaunun siirto	Vaunun siirto toiseen kohtaan työjärjestys prosessia
Työpakettien vaihto	Työpakettien vaihtaminen kahden vaunun välillä

Fransson et al. (2015) toivat tutkimuksessaan esille, että mikäli tahtiin ei päästä, tulee ohjaustoimenpiteenä jäljellä olevat työtehtävät saattaa valmiiksi ylityönä, jätettävä vaunusta pois tai on tehtävä seuraavan tahdin aikana. Seuraavan tahdin aikana työn loppuun saattaminen voidaan tehdä ainoastaan sellaisissa tapauksissa, jos se ei sotke seuraavan urakoitsijan työntekoa. Työn jättäminen pois vaunusta tarkoittaa sitä, että työtehtävät suoritetaan myöhemmässä vaiheessa loppuun. Tämä onnistuu, mikäli työtehtävillä ei ole vaikutusta muihin työvaiheisiin ja ainoastaan, jos joku yksittäinen erikoisongelma esiintyy tietyssä tilassa. Erikoisongelmien kohdalla tulee selvittää sekä ongelman syy että ratkaisu sille, jottei ongelma toistu enää myöhemmissä vaiheissa. Tahtituotannossa ongelmat tunnistetaan sekä korjataan nopeasti ilman, että tuotannon variaatio siirtyy seuraavalle työtehtävälle. Fransson et al. (2013) tutkimuksessa todettiin myös, että selkeä kommunikointi on ohjaustoimenpiteenä tärkeää.

Tahtiohjauksen seurantatyökalut

Tässä kappaleessa esitetään seurantatyökaluja tahtiohjauksen tueksi, joilla voidaan ylläpitää tietoa tarvittavista ohjaustoimenpiteistä. Emdanat, Linnik ja Christian (2016) mukaan tuotannon seurantatyökalut auttavat tahtituotannon käyttöönotossa, sillä manuaalisesti koordinoitavat prosessit ja työkalut ovat alttiita inhimillisille virheille. Kirjallisuudessa on esitetty erilaisia työkaluja tukemaan tahtiohjausta. Esimerkiksi Olivieri, Seppänen ja Peltokorpi (2017) tutkivat työvoiman seuraamisen tasoa rakennustyömailla. Perinteisesti työvoimaa seurataan hyvällä tarkkuudella, mutta myös haasteita esiintyy työvoiman seurattavuuden osalta. On esimerkiksi hyvin vaikeaa seurata, missä tilassa työntekijät ovat työskennelleet tai missä tilassa ovat käyttäneet aikaansa. Prosessitiedot eivät ole yleisesti olleet todellisessa ajassa ja tuottavuutta lasketaan manuaalisesti. Olivieri et al. (2017) ehdottavat käytettäväksi todellisessa ajassa tapahtuvaa seuranta tietoteknisten sovellusten avulla. Nämä teknologiset ratkaisut avustavat Lean tuotannon ohjaussysteemejä. Toisaalta Emdanat et al. (2016) mukaan inhimillisiä virheitä voi syntyä myös sellaisissa tilanteissa, joissa keskenään yhteyksissä olevien systeemien vaikutusta toisiinsa ei ymmärretä tai nähdä visuaalisesti. Tieto kerätään automaattisesti ja sen pohjalta tehdään visuaalinen raportti. Raportista selviää sekä alueittain että kerroksittain työntekoon käytettyjen työtuntien perusteella valmiustaso. Haasteena on kokonaisseuranta, sillä jokainen työryhmä seuraa pelkästään omaa tuotantotasoaan ja urakoitsijoiden seurannat voivat olla ristiriidassa tahtialueittain. Kokonaisvaltainen seuranta suositellaan otettavan käyttöön sillä se parantaisi tiedon läpinäkyvyyttä sekä johdonmukaisuutta.

Työasemalle palaaminen

Korjaustyökierros (Go-Back Work) tai työasemalle palaaminen (käsitelty luvussa Lean ajattelu rakennusteollisuudessa) on käsite, jolla kuvataan työtehtäviä, jotka liittyvät aiemmin valmiiksi saatettuihin työtehtäviin. Työtehtävät voivat olla uusia tehtäviä, joita ei ole aiemmin huomattu tai tehtäviä, joita ei ehditty suorittamaan tahtiajan puitteissa. Korjaustyökierrosten resurssointi on yleensä sisällytetty työtehtävän keston ja työvoiman arviointiin. Korjaustyökierroksilla on myös suuri vaikutus projektin kustannuksiin. Tämä johtuu siitä, että vaikka 95 prosenttia töistä on tehty, viimeiset 5 prosenttia ovat yleensä kaikkein kalleimpia kustannuksia. Mikäli korjaustyökierroksista ei löydy tarkkaa dokumentointia, on riskinä, että ennusteet osoittautuvat epätarkoiksi. Korjaustyöt täytyy tunnistaa riskinä. Toimintatavat riskin pienentämiselle täytyy suunnitella yhteistoiminnallisesti. Tutkimuksessa oli otettu käyttöön toimintatapa, jossa viikoittain merkittiin ylös korjaustyönä tehdyt työtehtävät, jolloin projektin korjaustoista syntyy tilastotietoa. Kyseistä tietoa voidaan analysoida myöhemmin sekä selvittää mahdollisia kehityskohtia ja ratkaisuja.

Lisäksi selviää myös, onko kyseinen korjaustyö mahdollisesti osa isompaa laatuongelmaa. Esitetty prosessi helpottaa työryhmää pitämään korjaustyökierrokset hyvin läpinäkyvänä. Lisäksi se tarjoaa työnjohtajille mahdollisuuden arvioida ja ennustaa korjaustyöhön tarvittavia työtuntien määriä. Prosessi johtaa siihen, että korjaustyökierroksista saadaan tarkkoja ja näin ollen myös riskienhallinta paranee. (Emdanat, Linnik & Christian, 2016)

Dokumentointi

Tahtiohjauksessa on tärkeää dokumentoida erilaisia avaintekijöitä. Dokumentoitavat asiat ovat jokaisen urakoitsijan työntekijämäärä, työkonoiden määrä, tahtisuunnitelman noudattamisen taso, laatuvirheet, työturvallisuusasiat, häiriöiden määrä työssä sekä tieto työmaan siisteydestä. Kaikki avaintekijät ja vaivannäöt kirjataan ylös, jolloin tietoja voidaan vaivattomasti hyödyntää tulevilla tahtiprojekteilla tahtisuunnittelun osalta. (Binner et al., 2017)

3.7 Tahtituotannon tapaustutkimukset kirjallisuudessa

Tässä luvussa käsitellään kirjallisuudessa esitettyjä tapaustutkimuksia aiemmista rakennusalan tahtiprojekteista. Tapauksissa keskitytään tutkimukseen, jossa on tutkittu toimitilakohteita. Tapauskohteet ovat esitettynä taulukossa 3, josta huomaa Saksalaisen mallin käytön autotehtaiden rakentamisessa ja Kalifornialaisen mallin käytön toimitilarakentamiseen.

Taulukko 3. Tapauskohteet esiteltynä sekä tahtisuunnittelumenetelmä ja tahtiohjaus

Kohde	Tahtisuunnittelu	Tahtiohjaus
Autotehdas (Dlouhy et al., 2016)	Saksalainen malli, hieman muokattuna	Päivittäinen tahtitapaaminen, joka dokumentoitiin kaikille nähtäväksi
Autotehdas (Dlouhy et al., 2017)	Saksalainen malli, tutustutettiin urakoitsijat tahtituotantoon. Kerättiin kaikilta urakoitsijoilta tahtisuunnitelmat ja yhdistettiin.	Tahtiaikataulun visualisointia käytettiin työkaluna kommunikointiin, jolloin havaittiin aikaisessa vaiheessa pullonkaulat
Sairaala (Frandsen et al., 2016)	Tahtisuunnittelu valittiin, sillä antoi mahdollisuuden nopeaan aikatauluun. Tahtiajaksi valikoitui 5 päivää simulointien kautta. Käytettiin varamestaa.	Ohjaustoimenpiteenä tahtien yhdistäminen, alueella tapahtuvasta vähäisestä muusta työstä johtuen. Ei päivittäisiä tahtitapaamisia.
Toimitilan julkisivu (Frandsen et al., 2013)	Kalifornian malli, 4 päivän tahti	Päivittäinen tahtitapaaminen
Terveystieteiden tutkimuskeskuksen uusi kerros (Frandsen & Tommelein, 2014)	Kalifornian malli, 2 päivän tahti	Logistiikalla merkittävä vaikutus tahtisuunnitteluun.

Dlouhy et al. (2016) kolmen tason menetelmää käytettiin autotehtaan rakentamisessa. Rakennus jaettiin aluksi mallin mukaisesti päätasolla kolmeen osaluovutusalueeseen, mutta asiakkaan toiveiden mukaan rakennus jaettiin loppujen lopuksi yhteensä neljään osaluovutusalueeseen. Tahtisuunnittelu meni siis pääsääntöisesti Saksalaisen mallin mukaan.

Tahtiohjausvaiheessa työpaketteja tarkennettiin yhteistyössä urakoitsijoiden kanssa. Lisäksi päivittäisissä tahtitapaamisissa käytiin läpi työn etenemistä ja tilanne dokumentoitiin yhteiselle taululle kaikkien nähtäville. Kolmen tason menetelmän avulla luotiin yleisiä prosesseja, joita voidaan käyttää myöhemmin muissakin projekteissa. Modulaarinen esivalmistus, tahtisuunnittelu ja tahtiohjaus edesauttoivat rakennusajan lyhentämistä yhteensä viidellä kuukaudella.

Dlouhy et al. (2017) tutkivat myös toista autotehtaan tuotantolinjan muutokseen liittyvää kolmen tason tahtituotantomenetelmää. Tilaaja vaati projektissa tahtituotantomenetelmän käyttöä ja tarkoitus oli tutustuttaa projektiin osallistuvat urakoitsijat tahtituotantoon. Urakoitsijoille esitettiin tahtisuunnittelua ja -ohjausta sekä simuloitiin tahtituotantoa. Tämän jälkeen jokainen urakoitsija teki tahtisuunnitelman. Kaikkien urakoitsijoiden tahtisuunnitelmat liitettiin yhteen ja yhtenäistettiin. Tahtisuunnittelussa käytettiin viittä askelta seuraavassa järjestyksessä: listatiin kaikki työtehtävät sekä niiden kestot, jaettiin pohja pienempiin työalueisiin, laskettiin työtehtävien ja alueiden kestot, jaettiin työtehtävät päivittäisiksi töiksi ja värikoodeiksi, luotiin tahtiaikataulu sekä viimeiseksi yhdistettiin kaikkien urakoitsijoiden aikataulut. Yksi urakoitsija pystyi pienentämään työn kestoa yhteensä 23,2 prosentin verran. Tahtiaikataulu on työkalu, joka kehittää visuaalisuutensa ansiosta myös kommunikointia. Tämän ansiosta voitiin jo aikaisessa vaiheessa havaita ns. työn törmäykset sekä pullonkaulat urakoitsijoittain. Tahtiaikataulun mukaista tuotantoa oli helppo seurata ja ohjata.

Frandsen ja Tommelein (2016) tutkivat tahtisuunnittelua sairaalan rakentamisessa. Ensimmäisenä selvitettiin projektin tavoitteet ja tahtisuunnittelu valittiin, sillä se antoi mahdollisuudet toimittaa nopealla aikataululla. Tahtisuunnitteluun osallistui osa urakoitsijoista, pääurakoitsija ja suunnittelijoita. Ensimmäinen ja toinen kerros oli jaettu kolmeen osaan (A, B ja C) ja kahteen vaiheeseen. Vaihe 1 piti sisällään B ja C alueet sillä niissä oli karkeasti samankokoinen työmäärä. Vaihe 2 piti sisällään A alueen, jossa oli potilashuoneet. Tahtiaika oli laskettu niin, että tahtialueelle varattu työpäivien määrä per työvaiheelle jaettiin työtehtävien määrällä. Laskelmien mukaan minimi tahtiajaksi tuli 5 päivää. Eri tahtiaikojen avulla simuloitiin aikataulua ja siihen jäävää aikaa työtehtäville. Simuloinnin antamalla tiedolla päätettiin tahtiaika, tasapainotettiin työt ja luotiin aikataulu. Imuohjauspalavereista kerättyjen tuotantotietojen mukaan ehdotettiin 10 päivän tahtia, joka ei olisi riittänyt tekemään tarvittavia töitä aikataulussa. Lopulta päädyttiin 5 päivän tahtiin. Tämän jälkeen työjärjestykset ja työn kestot vahvistettiin. Viiden päivän tahti aiheutti erimielisyyksiä, mutta lopulta suurin osa urakoitsijoista suostuivat siihen. Yksi työvaihe tarvitsi kahta tahtia. Koko tahtialueen tilaa ei kuitenkaan tarvittu, joten tahtiryhmä päätti yhdistää työt toiseen työvaiheeseen. Sähkötila jätettiin tahdin ulkopuolelle eli toimi varamestana. Yhdessä tahtitapaamisessa sovittiin alueiden luovutuspäivät seuraavalle urakoitsijalle. Tahtiohjauksen osalta tuotannon seuranta tehtiin potilashuoneiden osalta viikoittain. Projektissa ei tehty päivittäisiä tahtitapaamisia, vaan mentiin suoraan työmaalle selvittämään ongelmakohtia ja ongelmat dokumentoitiin suoraan pohjakuviin. Toteutusprosenttia seurattiin sekä työmaan, että eri osapuolilta tarvittavista tiedoista.

Frandsen et al. (2013) tutkivat tahtituotannon implementointia julkisivutöissä. Alun perin kaikkiin työtehtäviin oli suunniteltu yksi ryhmä, mutta ikkunoiden kehystys oli tuplasti muita töitä hitaampaa. Työt tasapainotettiin ja ikkunoiden kehystykseen otettiin kaksi työryhmää. Rajoitteena työsuunnitteluun oli se, ettei yhdellä julkisivulla voinut olla kuin yksi ikkunoita asentava työryhmä. Suunnitelman valmistuttua pääurakoitsija järjesti päivittäiset tahtitapaamiset sekä viikoittaisen työsuunnittelu tapaamisen. Julkisivun työvaiheelle asetettiin 4 päivän tahti. Tahtisuunnitelman tekoon vaadittiin enemmän panosta

kuin perinteisen työsuunnitelman tekoon, sillä tarvittiin koko työmaan työryhmän panosta suunnitteluun ja jokainen työtehtävä täytyy miettiä erittäin tarkkaan. Tahtisuunnittelun ansiosta julkisivun verhous valmistui kuusi kuukautta nopeammin. Tuotantotaso kasvoi, vaikka suunnitelmamuutoksia tapahtui verhouksessa. Kuitenkin haasteena pidettiin tahtisuunnitelman läpinäkyvyyttä sekä kommunikointia. Toisena haasteena pidettiin kurinalaisuutta ja järjestystä tahtisuunnitelmaa kohtaan. Uudesta toimintatavasta on helppo luistaa takaisin vanhaan malliin. Tämä vaatii ihmisten ajattelutavan muutosta. Kolmantena haasteena oli tahdin päivittäinen suunnittelu, joka vaatii paljon enemmän tukea tahtisuunnitteluryhmälle.

Fransson ja Tommelein (2014) tutkivat tahtisuunnittelun käyttöä terveydenhuoltolaitoksen yhdessä kerroksessa. Tahtisuunnitelma oli käytössä pääosin talotekniikkaa varten. Yhteistoiminnallisen tahtisuunnittelun lopputuloksena oli kahden päivän tahti. Logistisesta näkökulmasta kuuden tahtialueen käyttö tarkoitti, että jokaisen urakoitsijan täytyy tarkasti merkitä työtehtävänsä suunnitelmaan. Tahtisuunnitelma tarvitsee visuaalisen esityksen suunnitteluvaiheessa, jotta kaikki työtehtävät voidaan sijoittaa tahtimaisessa järjestyksessä. Työjärjestyksen ymmärtäminen ennen tahtisuunnitelman tekoa on hyvin kriittistä, sillä muuten joudutaan tahtisuunnitelmaa iteroimaan usein saavuttaakseen toimivan suunnitelman. Tärkeää yhteistoiminnallisessa tahtisuunnittelussa on oikeiden tai avustavien kysymysten kysyminen urakoitsijoilta. Kysymykset helpottavat urakoitsijaa ymmärtämään työmäärään tarvittavat kestot ja työryhmät sekä ymmärtämään, kuinka työ suoritetaan yleisellä tasolla kohteessa. Keskustelu suunnitelmista aikaisessa vaiheessa antoi tahtisuunnitelmalle ja koko tuotannolle arvoa. Näin ollen pystyttiin jo alkuvaiheessa havaitsemaan paljon epäkohtia. Tutkimuksessa selvisi myös se, että tahtituotanto soveltuu erilaisiin toteutusmuotoihin eri prosesseilla. Haasteena nähtiin myös tahdin imuohjaussuunnittelussa, koska päivämääriä ei asetettu työtehtäville. Päivämääriä ei kannattanut asettaa vielä tässä vaiheessa, sillä tahtisuunnittelu on iteratiivista. Ongelmaksi kehittyi myös tahtiajan tasapainottaminen, sillä suunnitelmaa ei voitu skaalata useampien kerrosten tai isompien alueiden kanssa. Ei saatu täysin tasapainotettua ja toteuttamiskelpoista suunnitelmaa. Tahtisuunnitelman avulla pystyttiin silti työskentelemään paremmin yhdessä ja tilaa käytettiin paremmin hyödyksi.

Kirjallisuudessa löytyi paljon tutkimuksia tahtisuunnittelusta, mutta tahtiohjauksesta oli vähemmän dataa. Saksan ja Kalifornian mallia käytettiin paljon teoreettiselta pohjalta hyödyksi. Tapaustutkimuksia on tehty tahdin mukaan myös laivan hyttien entisöinti töistä niin kuin Heinonen ja Seppänen (2016) on tutkinut. Tutkimuksessa huomattiin, että tuotavuutta saatiin parannettua 380 prosenttia, laatuvirheet vähenivät 99 prosenttia ja projektin läpimenoaika lyheni 73 prosenttia. Tämän diplomityön menetelmäksi valitaan Kalifornian malli. Kalifornian mallista löytyy enemmän tutkimustietoa toimitila kohteista, joissa työt eivät ole kokonaisuudessaan toistuvia ja näin ollen voi mahdollistaa monipuolisemman käytön eri tyylisissä toimitilakohteissa. Kalifornian mallia voi myös pitää monipuolisempana, sillä aluejaot luodaan pääosin työtiheyden suhteen. Yhteistoiminnallisuuden trendi rakennusosalalla puoltaa myös enemmän Kalifornialaisen mallin valinnalle, jolloin voidaan enemmän suunnitella työtä yhdessä urakoitsijoiden kanssa. Kalifornian mallin mukaan siis tahtisuunnittelu tehdään kuudessa vaiheessa: (1) Tiedonkeruu, (2) Tahtialueiden määrittäminen, (3) Työjärjestyksen luonti, (4) työn virtauksen tasapainotus, (5) työvaiheiden aika ja (6) tuotantosuunnitelman luonti. Tahtiohjauksen osalta pidetään mahdollisena kaikkia aiemmin kuvattuja työkaluja ja vaatii lisäselvitystä työmaalla tapahtuvasta tahtiohjauksesta.

4 Tutkimuksen lähtötilanne

Tässä luvussa on tarkoitus selvittää kohdeyrityksen lähtötasoa tahtituotannolle. Luvussa selvitetään lähtötasoon liittyen tämän hetkinen tahtituotannon tilanne sekä mahdolliset haasteet, joihin haetaan vastauksia kirjallisuuden ja muiden tapaustutkimusten kautta. Lopuksi vertaillaan kirjallisuuden tuomia ratkaisuja esille tulleisiin haasteisiin.

4.1 Kohdeyrityksen ja kohteen esittely

SRV Rakennus Oy toteuttaa kohteensa projektinjohtourakoitsijana. Yrityksen tehtävänä on rakentaa sekä kehittää liike- ja toimitiloja, asuntoja, logistiikkakohteita, sairaaloita ja hotelleja. SRV toteuttaa kohteensa SRV mallin mukaisesti, joka on rakennushankkeiden kattava asiakaslähtöinen yhteistoimintamalli. SRV on alalla suhteellisen nuori yhtiö ja on perustettu vuonna 1987. (SRV, 2019) SRV toimii kohteen 1 rakentajana. Kohde on uusi toimistorakennus, joka on pinta-alaltaan noin 6000 neliömetriä. Kerroksia rakennuksessa on yhteensä viisi. Kohteen rakennusaikaa on noin vuosi. Kohteessa luovuttiin tahtituotannon implementoinnista myöhemmin esitettyjen haasteiden takia.

Kohteen tutkimus on toteutettu osana kolmea tapaustutkimusta. Tämä luku auttaa suunnittelututkimuksessa esittämään käytännön ongelman, jolle haetaan kirjallisuudesta sekä myöhemmistä luvuista ratkaisua. Seuraavissa alaluvuissa esitetyt tiedot antavat pohjaa analyysille selvittämällä nykytilannetta sekä tarkoitus on luoda mahdollisimman kokonaisvaltainen ymmärrys tämän hetken ongelmasta. Aineistoa on kerätty haastattelemalla kahta kohteen työntekijää, käymällä läpi kohteen tahtituotantoon liittyviä dokumentteja sekä työmaakierroksilla havaittuja asioita.

4.2 Tahtisuunnittelu

Kohteessa 1 tahtisuunnittelu aloitettiin marraskuussa noin 2 kuukautta ennen rakentamisen aloittamista. Tahtiaikatauluun tehtiin muokkauksia viimeisen kerran vielä maaliskuussa 2018. Sisävalmistusvaiheen osalta tahtiaikataulua hienosäädettiin vielä toukokuussa, juuri ennen kesäkuussa aloitettuja sisävalmistustöitä. Urakoitsijat saatiin osittain sitoutettua tahtituotantoon sopimuksilla. Tahtituotanto aiheutti haasteita varsinkin hankintavaiheessa, sillä monet urakoitsijat eivät halunneet osallistua projektiin tahtituotannon takia. Haasteena tahtisuunnitelmassa pidetään myös sitä, että tahtisuunnitelmat tehtiin ainoastaan alkuperäisille kohteen suunnitelmille. Suunnitelmiin tulee usein kuitenkin muutoksia, jolloin tahtisuunnitelmien mukaiset työjärjestykset eivät ole toimivia.

Tahtiaika ja -alue

Kohteessa 1 tahtiajan määrittämisessä on käytetty Ratu -menekkejä, joiden mukaan työtehtävien kestot on määritetty. Jokaiselle työtehtävälle tehdään määrälaskenta määristä tahtiaikalaskentataulukon (taulukko 4 ja 5) mukaisesti. Taulukoissa (4 ja 5) esitetyt kertoimet ovat Rakennusteollisuuden määrittämiä taulukkoarvoja kertoimille. Tahtiaika on määritetty lohkoittain ja taulukossa 5 vihreällä on esitetty laskelmien mukainen tahtiaika. Laskelmien mukaan kohteelle 1 määritettiin tahtiajaksi kaksi päivää.

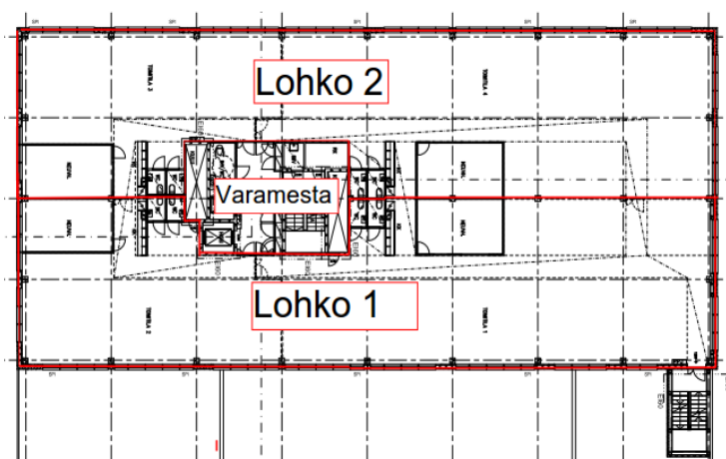
Taulukko 4. Tahtiaikalaskentaa

	määrä	yks	tth/yks	tth (T3)	suoriteker	TL3	T4
	4046	m2	0,23	930,6	0,50	1,10	515,9
	4046	m2	0,05	186,1	1,00	1,10	204,7
	60	kpl	7	420,0	0,50	1,10	231,0
	60	kpl	4	240,0	2,00	1,10	528,0
	3251,6	m2	0,68	2211,1	0,95	1,10	2310,6

Taulukko 5. Tahtiaikalaskennan jatkoa

T4	tth/tv	kesto (tv)	perkrs (tv)	perlohko(tv)	RAM
515,9	32	16,12	4,03	2,02	4
204,7	16	12,80	3,20	1,60	2
231,0	16	14,44	3,61	1,80	2
528,0	32	16,50	4,13	2,06	4

Tahtialueen suunnittelua ei tehty aiempien tutkimusten mukaisesti eli yhteistoiminnallisesti, vaan geometrian ja symmetrian takia alueet jaettiin kahteen osaan lohkojaon mukaisesti, kuvan 6 esittämällä tavalla. Aluejaossa yksi lohko esittää yhtä tahtialuetta. Kuvassa 6 on tahtialueiden lisäksi esitetty varamesta hissiaulassa. Haasteena pidettiin tahtialuejakoa, sillä tässä kohteessa ei ollut kokemusta tai ymmärrystä, miten tahtialueet kannattaisi jakaa. Aluejako tehtiin toistuvuuden ja symmetrian mukaan, sillä kyseistä tapaa pidettiin helppona ja järkevänä tapana jakaa kerrokset tahtialueisiin. Lohkojakoon olisi pitänyt käyttää enemmän panoksia sekä keskittymistä (H1 ja H2).



Kuva 6. Lohkojako kohteessa 1.

Tahtiaikataulu

Kohteen 1 tahtiaikataulu oli tehty sisävalmistusvaiheelle (liite 1). Sisävalmistusvaiheen kestolle oli varattu aikaa noin 7 kuukautta. Tahtiaika oli kaksi päivää, joten aikatauluun oli varattu viikolle yhteensä kaksi tahtiyksikköä. Ensimmäinen yksikkö suoritettiin maanantain ja tiistain aikana ja toinen yksikkö suoritettiin taas keskiviikon ja torstain aikana. Näin ollen perjantai jäi puskuriksi. Tahtiaikataulun osalta oli käytössä kaksi juna, joista toinen oli pääjuna. Pääjunan tehtävät koostuivat kerrosten 1-5 rakennustöistä. Toinen juna oli suunniteltu pääasiassa varamestoilte. Varamestojen sisältämät työtehtävät koskevat pääosin vertikaalisti talon läpi kulkevia työtehtäviä. Käytännössä varamestoihin kuului porrashuoneet, kuilut, ilmanvaihtokonehuone, ravintola sekä kellari. Lisäksi myös urakoitsijat olivat pysyneet osittain aikataulussa. Tämä voi johtua osittain myös siitä, että

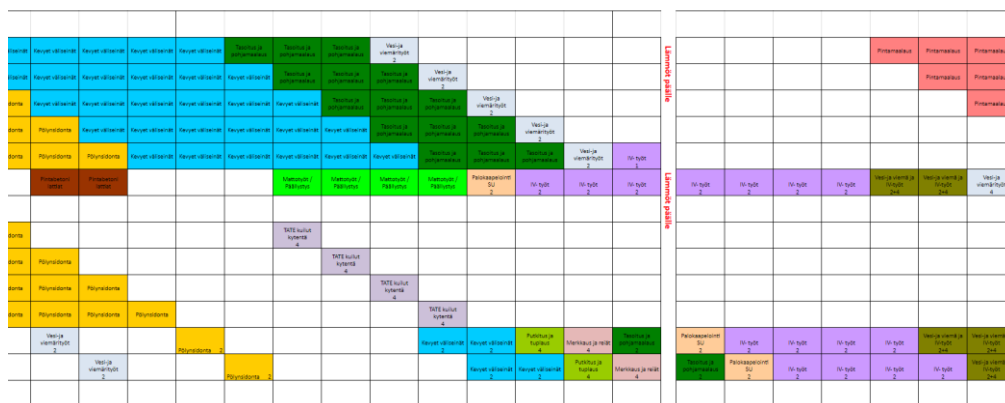
urakoitsijoiden työtehtävät oli sitoutettu aikatauluun jo tarjousneuvotteluvaiheessa. Tah-
tiaikataulun esittäminen neuvotteluissa olikin ollut toimiva ja tehokas käytäntö muun mu-
assa sitouttamisen kannalta (H1 ja H2).

Tahtiaikataulusta (liite 1) voi havaita, että tahtiajassa ongelmaksi koituu pääasiassa kipsilevyseinärungon asennus, sillä laskennallisesti työtehtävä kestää 4 tahtia. Laskentakaa-
valla tahtiajaksi oli laskettu kipsilevyseinille noin 9 päivän tahti. Näin ollen voidaan to-
deta, että tässä projektissa pullonkaulana toimii levyseinäasennus. Talotekniset wc-kalus-
teet ja oviasennukset valmistuvat laskennallisesti liian nopeasti. Liian nopeasti etenevät
työt eivät kuitenkaan tuota ongelmia, sillä työtä voidaan tarpeen tullen hidastaa tai resurs-
seja voidaan tarvittaessa hyödyntää muualla. Lisäksi urakkaneuvotteluissa painotettiin
vahvasti tahtiajan lasketussa resurssimäärässä pysymisen tärkeyttä ja urakoitsijat olivat-
kin pysyneet hyvin suunnitellussa resurssimäärässä. Tarkka aikataulun seuranta ei ollut
onnistunut projektissa, kuten haluttiin eikä tahtiaikataulua ole esitetty työmaan työnteki-
jöille asti. Tahtiaikataulun seurantaan käytettävä aika meni muutosten selvittämiseen. Itse
aikataulutus tai sen luominen ei ollut tuottanut vaikeuksia tai haasteita (H1 ja H2).

Projektissa ei oltu täysin varmoja, mitä työvaiheita tahtiaikatauluun tulisi edes merkitä. (H1) Tätä hän piti tahtiaikataulun kannalta merkittävänä haasteena. Esimerkiksi vessaryhmien rakentamisen osalta suunniteltu tahtiaika oli haastateltavan mielestä liian pitkä ja tahtituotannon perusperiaatteen mukaan tilassa tulisi olla samanaikaisesti ainoastaan yksi urakoitsija per tahti. Vessaryhmien kohdalla oli siis hukka-aikaa hyödynnettävissä. Kahden junan systeemillä nousi kysymys siitä, kuinka puskurit tulisi sijoitella mahdollisimman tehokkaasti. Myös talotekniikan yhteensovittaminen tahtiaikatauluun koettiin osittain haastavaksi. Kohteessa käytettiin taloteknisiä elementtejä ja elementtiratkaisujen hyödyntämistä osana tahtisuunnittelua pidettiin onnistuneena, vaikka yhteensovittamista pidettiin haastavana.

Varamestat

Kohteessa 1 varamestojen käyttäminen jäi epäselväksi. (H1) Epäselvyyttä aiheutti haastateltavalle varsinkin ymmärrys, kuinka varamestojen työtehtäviä tulisi tuotannossa toteuttaa. Varamestojen hyödyntäminen sekä niiden vaikutus jäivät epäselväksi ja siitä syystä myös niiden aikatauluttaminen oli vähäistä. Varsin ongelmallisena pidettiin sitä, ettei varamestoja osattu aikatauluttaa pääjunan kanssa samalle tasolle. Kuva 7 osoittaakin, ettei projektissa päästy täysin kirjallisuudessa tärkeäksi pidettyyn työn tasaisuuteen tai jatkuvuuteen. Lisäksi aikatauluun jäi työtehtävien väliin erikokoisia aukkoja, jotka voivat olla hukka-aikaa.



Kuva 7. Varamestojen aikataulutuksessa esiintyviä epäjatkuumia kohteessa 1.

Varamestoihin oli sijoitettu tiloja, jotka eivät ole horisontaalisesti jatkuvan työn tiloja. Lisäksi niihin oli sijoitettu yksittäisiä muista tiloista poikkeavia tiloja (kuten ilmanvaihtokonehuone ja ravintola). Kellaritila jätettiin vähäisten työtehtävien takia aikatauluttamatta kokonaan, vaikka kellarillekin olisi pitänyt luoda oma aikataulu (H2). Ravintolan tahti suunniteltiin taas oletetuilla tiedoilla, sillä ravintolatilalle ei ollut vielä löytynyt asiakasta. Myös ilmanvaihtokonehuone on sijoitettu varamestoihin, sillä se on teknisesti hyvin erilainen tila verrattuna muihin tiloihin.

Puskurit

Pääasialliset puskurit tahtiaikataulussa olivat perjantai, suoritettavat vuorokautiset ylityötunnit sekä viikonloppuna suoritettavat viikoittaiset ylityötunnit. Tämä on aikaa, jolloin voidaan kuroa aikataulua kiinni sekä voidaan saattaa pieniä tekemättömiä työtehtäviä loppuun. Tekemättömät työt ovat sellaisia työtehtäviä, joita ei ehditty suorittamaan tahdissa. Tahtiajan laskelmista huomataan, että myös työntekijäresursointi toimii puskurina. Laskelmissa on mukana työtehtäviä, jotka annettulla työntekijämäärällä kestävät alle tahdin eli kaksi päivää. Tahtiaikataulusta (liite 1) voi myös huomata Binnering et al. (2017) esittämän pehmeä aloitus -ohjaustoimenpiteen.

4.3 Tahtiohjaus

Tuotannonohjausta tai tahtiohjausta pidettiin hankalampana kuin varsinaista tahtisuunnittelua. Pääurakoitsijan oman organisaation sisällä tahtiohjauksesta koitui merkittävä ongelma tahtituotannon käyttöönoton osalta. Tämä johtui suurimmaksi osaksi siitä, ettei pääurakoitsijan organisaatiossa olleilla ollut aiempaa kokemusta tahtituotannosta. Työmaapäällikkö ja projekti-insinööri olivat ainoita, jotka saivat koulutusta tahtituotantoon. Ongelmana pidettiin myös työnjohtajien riittämätöntä tietoa tahtituotannosta.

Tahtituotannon ja sen käyttöönoton suurimpana ongelmana pidettiin rakennuslalla vallitseva kulttuuri (H1 ja H2). Työtehtävät halutaan tehdä usein omalla tavallaan ja harvemmin halutaan muuttaa omia työtapojaan. Myös muutosvastarinta uusia prosesseja sekä prosessimuutoksia kohtaan on suuri. Rakennuslalla vallitseva yleinen kulttuuri sekä työntekijöiden mielipiteet ovat vastahakoisia tahtituotantoon vastaan. Urakoitsijoiden työntekijöitä tulisi myös opastaa tahtimenetelmien käyttöön (H1 ja H2). Käytännön tahtiohjaus nähtiin ongelmallisena, sillä esimerkiksi kahden päivän tahdilla ei pystytty pitämään työnjohtajia ajan tasalla. Tärkeänä pidettiin sitä, että pääurakoitsijan oma työryhmä ymmärtää tahtituotannon menetelmät sekä toimii tahtituotannon toimintatapojen mukaisesti ennen kuin voidaan edellyttää samaa muilta urakoitsijoilta (H1).

Materiaaleja ei hankittu riittävästi ja tämä vaikutti taas merkittävästi työtehtävien viikoittaiseen virtaukseen sekä tasaisuuteen, sillä materiaalien puuttuessa ei päästy aloittamaan työtehtävien suorittamista tahtiaikataulun mukaisessa järjestyksessä. Tahtialueiden vastaanottoa oli ollut vaikea järjestää jokaisen tahdin jälkeen sekä alueiden luovutukset tahdin sisällä. Pääurakoitsijalla ei ollut riittävästi työntekijäresursseja. (H1 ja H2) Tahtiohjauksen tarkoituksena on saada tahtialueet täysin valmiiksi tietyssä tahdissa. Tämä oli myös aiheuttanut ongelmia, sillä työmaalla ei saada alueita kokonaan valmiiksi, jolloin seuraava ryhmä ei pääse suorittamaan omia työtehtäviään valmiiseen työtilaan.

Kohteessa nousi ongelmaksi esimerkiksi väliseinien tuotantomäärän tasaisuus. Eri tahtialueilla oli erilaisia määriä väliseiniä, jolloin tasainen eteneminen oli haasteellista. Liukuhihnamaisuuteen ei oltu vielä kohteessa päästy eikä siitä syystä päästy suorittamaan

työtehtäviä tasaisesti (H1). Työntekoon vaikuttaa kriittisesti myös se, että muita töitä joudutaan työnjohdollisesti priorisoimaan eikä varsinaisen tahtituotannon ylläpitämiseen jää aikaa. Lisäksi ongelmana on myös pidetty varamestojen hyödyntämistä tahtiohjauksellisesti eri työvaiheiden osalta.

Urakoitsijoiden työnjohdon poissaolo voi myös aiheuttaa haasteita, sillä tarkoituksena on tarkastaa yhdessä urakoitsijan kanssa työtehtävien lopputulos tahtialue kerrallaan. Haasteena on monesti se, ettei urakoitsijan sopimukseen ole merkittynä työnjohdon paikallolopakkoa. Kohteessa ei kuitenkaan oltu päästy tarkastus tahtialue kerrallaan -rytmiin, jossa työalueet tarkistettaisiin tahtiajan jälkeen.

Tuotantonopeuden valvominen

Tuotantonopeutta ja työn tuottavuutta valvottiin pääsääntöisesti jana-aikataululla viiden viikon kokonaisuuksissa. Sellaisia työvaiheita, jotka eivät etene suunnitellussa tahdissa, seurattiin kuitenkin tarkemmin. Valvontaa ei oltu ennalta suunniteltu eikä sitä kontrolloida erikseen, vaan työn tuottavuuden seurauksena tapahtui tilannekohtaisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että prioriteettijärjestys määräytyy kiireen ja tarpeen perusteella. Työmaan työtehtäviä seurattiin päivittäisellä tasolla ja työmaakerroksia tehtiin päivittäin.

Tahtiajan määrittämiseen käytettyjä Ratu-menekkejä ei oltu seurattu käytännön tasolla. Tästä syystä ei myöskään tiedetty, päästäänkö tahdin tasolla tahdin asettamiin tuottavuuden arvoihin. Työmaalla kuitenkin seurattiin työvaihetasolla, missä ajassa työvaihe oli saatu suoritettua loppuun asti. Menekkejä tai tuottavuutta olisikin syytä seurata tulevaisuuden varalta. Esimerkiksi tahtilaskelmien mukaan väliseinäurakoitsija oli projektissa pullonkaulana, väliseinäasennukset saatiin suoritettua kuitenkin nopeammin kuin aikataulussa oli määritelty.

Urakoitsijapalaverikäytäntö

Kohteessa 1 urakoitsijapalaveri pidetään perinteisellä tavalla. Palaverissa käydään kaikki työvaiheet urakoitsijakohtaisesti läpi. Kyseisen kohteen urakoitsijapalaveriin ei oltu implementoitu tahtituotantoa, sillä palaverissa ei käydä asioita läpi tahdin kautta. Ongelmana urakoitsijapalavereissa pidettiin sitä, etteivät urakoitsijat osallistu niihin riittävästi. Osasyynä tähän voidaan pitää myös sopimusehtojen puutteellisuutta. Monesti urakoitsijoiden sopimusehdoista puuttuu pakollinen työnjohtaja, jonka vastuulla olisi osallistua viikoittaisiin urakoitsijapalavereihin. Urakoitsijapalavereissa käydään kuitenkin läpi urakoitsijoiden työvaiheilmoitukset. Työvaiheilmoitukset ovat tehty sopivammaksi tahtituotantoon, jolla pystytään vaikuttamaan hieman urakoitsijoiden ajattelumalliin tahtituotannon osalta. Työvaiheilmoituksessa urakoitsijat merkitsevät resurssinsa ja tehtävänsä tahtialueiden mukaan eri tahteihin.

4.4 Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon

Suunnittelulla oli merkittävä vaikutus kohteen 1 tahtituotannon toteutukseen. Suunnittelua pidettiin kohteessa pullonkaulana, koska suunnitelmien saaminen ajallaan ei onnistunut ja käyttäjämuutokset olivat suuria. Kriittiseksi ongelmaksi kohteessa 1 osoittautui suunnitelmapuutteet ja käyttäjämuutosten aiheuttamat suunnitelmamuutokset. Tämä vaikutti taas siihen, ettei toteutuksen osalta voitu olla varmoja edes isompien tahtialueiden osalta. Suunnitelmat eivät olleet ajan tasalla, jolloin myöskään työvaiheita ei voida toteuttaa. Mikäli työvaiheita toteutettiin ilman lopullista suunnitelmaa, lopputulosta piti

korjata myöhemmin. Tämä ei kuitenkaan ole tehokas tapa rakentaa eikä kohteen tahtiaikataulussa oltu osattu ottaa huomioon kyseisen ongelman vaikutuksia. Muutoksista johtuen työvaiheita tulee enemmän ja valmistuminen viivästyy.

Käyttäjämuidosten laajuus ja merkitys aikatauluttamiseen koitui ongelmaksi. Oli haastavaa suunnitella mahdollisille käyttäjän toiveille tai muutospyyntöille käytettävää aikaa, sillä vuokralaiset eivät olleet vielä tässä kohtaa projektia tiedossa. Vuokralaismuutoksia varten jätetty puskuri on 2.-5. kerroksissa kahden viikon mittainen. Haastateltavilla 1 ja 2 ei ollut tietoa, miten vuokralaismuutokset tulisi aikatauluttaa tai ylipäättään lisätä osaksi tahtisuunnitelmaa. Elokuussa 2018 annetun tilannekatsauksen mukaan tahtisuunnitelman mukainen tekeminen on ollut ongelmallista joidenkin työjärjestysten muuttuessa ja tiettyjen suunnitelmien puuttuessa. Käyttäjien kanssa käydyistä neuvotteluista johtuen väliseinätoita ei oltu voitu viedä loppuun asti. Lisäksi jo valmiiksi rakennetut seinät joudutaan todennäköisesti myös avaamaan, sillä pääurakoitsija odottaa käyttäjien tarpeiden mukaisia sähkösuunnitelmia, joihin saattaa tulla käyttäjämuidoksia. (H1) Käyttäjämuidokset aiheuttivat myös sen, että kohteessa ei ole päästy suorittamaan työtehtäviä tahtiaikataulun mukaisesti. Urakoitsijat joihin muidokset eivät vaikuttaneet pääsivät rakentamaan aikataulun mukaisesti.

4.5 Havaitut haasteet tahtituotannon implementoinnissa

Kohteessa oli vahva halu implementoida tahtituotantoprosessia, mutta aikataulun tiukuus, riittämätön ymmärrys, suunnitelmamuidokset sekä lopullisen sitoutumisen puute johtivat lopulta tahtituotannon poisjääntiin. Suunnitelmien myöhästymisen sekä käyttäjämuidokset asettivat tahtituotannon implementoinnin pilottikohteessa haastavaan lähtötilanteeseen jo ennen projektin varsinaista alkamista. Yksi kohteen 1 isoimmista tahtisuunnitteluun vaikuttavista haasteista oli aikataulussa pysyminen. Aikataulu oli todennäköisesti suunniteltu liian tiukaksi eikä aikataulussa ollut tarpeeksi joustavuutta. Lisäksi tahtisuunnittelusta puuttui kokonaan hienosäätövaihe. Ongelmana pidettiin myös puutteellista tiedottamista, sillä urakoitsijoiden työntekijöille asti ei mennyt tarpeeksi tietoa tahtituotannon osalta. Pääurakoitsijalle jäi hieman epäselväksi puskurien, junien sekä varamestojen suunnittelu. Myös tahtialuejako koettiin haasteelliseksi, sillä sitä ei oltu hienosäädetty ollenkaan. Lisäksi myös käyttäjämuidokset sekä suunnitelmapuutteet johtivat työsuunnitelman muuttumiseen kesken projektin. Kyseistä muidosta ei pystytty viemään tahtisuunnitelmaan.

Kohteessa 1 tahtiohjaus jäi kokonaisuudessaan monelle epäselväksi, joka aiheuttaa taas tahtituotannon implementoinnin osalta haasteita. Vaikka urakoitsijat pystyttiin sitouttamaan tahtituotantoprosessiin sopimuksilla, työntekijöiden sitouttaminen osoittautui haasteellista. Myöskään pääurakoitsijan oman organisaation ymmärrys tahtituotannosta sekä tahdistusta ei ollut tarpeeksi hyvällä tasolla. Kohteessa ei pystytty esimerkiksi materiaalihankintojen osalta hoitamaan hankintoja toivotulla tavalla ja tämä aiheutti taas haasteita aikataulussa pysymisen osalta. Myös alueiden luovutusta sekä vastaanottoa oli hankalaa toteuttaa annetussa tahdissa. Työtehtävien suorittamisen osalta ei päästy 100 prosentin toteumaan ja joidenkin työtehtävien osalta jouduttiin järjestämään korjaustyökierroksia. Kohteessa varamestojen työnohjaus oli epäselvää eivätkä työtehtävät edenneet tasaisesti. Tästä syystä myös tuottavuutta sekä toteumaa oli haasteellista seurata.

Vaikka kohteessa 1 luovuttiin tahtituotannosta ja haasteita esiintyi paljon, projektissa huomattiin myös kehityskohtia. Kehitystä havaittiin materiaali- ja työkaluvirran osalta.

Lisäksi työmaa-alueella on pystytty vähentämään hukka-aikaa työkalujen sekä materiaalien etsimisen osalta, sillä työkalut ja materiaalit löytyivät pääsääntöisesti oikeasta kerroksesta ja alueelta. Tällä pystyttiin taas vähentämään työntekijöiden ylimääräistä sekä turhaa liikkumista alueilla. Näin ollen myöskään työtarvikkeita etsivät työntekijät tai materiaalit eivät häirinneet muiden töitä. Myös talotekniset esivalmistetut elementtiratkaisut ovat tehostaneet kohteessa tahtituotantoa sekä helpottanut erityisesti taloteknisten urakoitsijoiden tahtiaikataulussa pysymistä. Esivalmistettujen elementtien käyttö tahtituotannossa on yleisestikin todettu erittäin tehokkaaksi toimintatavaksi, sillä se helpottaa työn muuttamista liukuhihnamaiseksi ja tasaiseksi. Lisäksi elementtien käyttö vähentää työmaalla vaikeissa olosuhteissa suoritettavia työtehtäviä. Haastateltavan 2 mukaan ainoana ongelmana pidetään pitkän linjan asentamista putkille, sillä elementtiratkaisut tarjoavat lyhyempiä putkia, jolloin liitoksia joudutaan tekemään enemmän.

4.6 Haasteiden analysointi

Lean ajattelun tuomista rakennuslalle on Koskela (1992) mukaan pidetty haasteellisenä, johtuen tuotantoteollisuuden ja rakennusteollisuuden eroista. Tämä luku aloitetaan listamalla taulukkoon 6 kohteessa 1 havaitut haasteet. Tämän jälkeen luvussa selvitetään mihin haasteisiin kirjallisuudesta löytyy vastaus ja mikä vaatii lisää selvitystä.

Taulukko 6. Havaitut haasteet tahtisuunnitteluun ja tahtiohjaukseen liittyen

Tahtisuunnittelu	Tahtiohjaus
Aikataulun tiukkuus ja aikataulussa pysyminen	Oman organisaation ymmärrys
Työntekijöille asti ei tullut tahdistusta	Materiaalihankinta
Tahtialuejako epäselvä	Alueiden luovutus tai vastaanotto hankalaa tahdissa
Puskurien ja junien suunnittelu hieman epäselvää	Ei saada työtehtäviä valmiiksi tahdissa
Varamest	Varamest
Käyttäjämäärät / suunnitelmapuutteet	Työn tasaisuus
	Tuottavuuden seuraaminen

Tahtisuunnittelu

Tahtiajan laskenta ei sinänsä aiheuttanut haasteita kohteessa 1, mutta ennalta laskettu urakoitsijan resurssimäärä voi aiheuttaa haasteita. Tämä jättää urakoitsijoille mahdollisuuden todeta, ettei kyseisellä ennalta suunnittelulla määrällä pystytty toteuttamaan työtehtäviään aikataulun puitteissa. Silloin urakoitsijoiden olisi parempi suostua sopimuksensa suorittamaan tietyn verran neliömetrejä tietyllä työryhmällä tietyssä ajassa. Urakoitsijoille pitää tehdä selväksi, että ongelmista huolimatta pitää resursoidulla määrällä pystyä saattamaan työt onnistuneesti loppuun asti annetussa tahdissa.

Aikataulun tiukkuuteen ja aikataulussa pysymiseen vaikuttaa tasapainotettu ja hyvin suunniteltu työsuunnitelma. Frandson et al. (2015) mainitsikin, että tarkoituksena on luoda tasaisuutta niin, että urakoitsijat voivat rakentaa tasaisella tahdilla läpi alueiden.

Binninger et al. (2017) myös esitti, että tahti on tasaisempaa mitä hienommin tai tarkemmin tahti on säädetty. Kirjallisuus (Yassine et al., 2014; Linnik et al., 2013; Frandson et al., 2013 ja Tommelein, 2017) esitti tahtisuunnittelua varten kuusi vaiheisen prosessin, joka esiteltiin aiemmin. Kalifornian mallin mukaisesti yhteistoiminnallisesti saadaan tehtyä työsuunnitelma, eri osapuolten kanssa, joten moni haaste olisi voinut nousta jo siinä kohtaa esille. Aikataulussa pysyminen olisi voinut olla helpompaa yhteisen suunnittelun ja läpikäynnin jälkeen. Binninger et al. (2017) ja Linnik et al. (2013) esittivät viiden päivän tahtia, juuri rakennusprosessin epätasapainaisuuden vuoksi.

Kohteessa 1 havaittiin myös, että tieto tahdistasta ei välittynyt työntekijöille tai työmaalle. Tähän voidaan myös pitää ratkaisuna Kalifornian mallia eli yhteistoiminnallista tahtisuunnittelua. Kirjallisuudesta ei löytynyt suoraa tietoa tulisiko tahtituotanto tehdä selväksi urakoitsijoiden asentajille asti vai jääkö vastuu tahtituotannon perehdyttämisestä urakoitsijan työnjohtajalle. Kuitenkin Frandson et al. (2013) mainitsi, että tahtiaikataulun teossa on erittäin tärkeää kuunnella juuri työtä tekevien näkemyksiä tuotannon suorittamisesta ja vaihtoehtoisista työtavoista. Tutkimuksessa myös mainittiin tärkeäksi eri alojen urakoitsijoiden osallistuminen tahtisuunnitteluun sekä antaa tukea näille urakoitsijoille. Dlouhy et al. (2017) esittivät työpajan käyttöä tahtituotannon oppimiselle sekä pitivät tahtiaikataulua itsessään visuaalisena työkaluna, joka lisää kommunikaatiota. Kuitenkin Frandson et al. (2013) esittivät tapaustutkimuksessaan juuri tahtisuunnitelmansa läpinäkyvyyden sekä kommunikoinnin haasteeksi.

Tahtialuejako koitui haasteeksi kohteessa 1. Kohteessa ei ole ollut riittävää ymmärrystä eri tavoista ja kuinka kokonaisuudessaan aluejako tehdään. Tahtialuejakoa ei ole iteroitu vaan pitäydytty alkuperäisessä jaossa. Kalifornian mallissa on selitetty, kuinka tahtialuejako tehdään ja se on mallin toinen vaihe. Tommelein (2017) esittää tahtialuejaossa käytettäväksi työtiheyksiä, jonka tiedot saadaan urakoitsijoilta. Tahtialuejako on myös iteroiva prosessi Kalifornian mallissa, joten sitä joudutaan muokkaamaan vielä myöhemmin prosessin aikana.

Kohteessa 1 oli käytössä Haghsheno et al. (2016) esittämä kiinteä puskuri. Kiinteänä puskurina pidettiin perjantaita ja viikonloppua. Puskurien suunnittelussa olisi voinut miettiä puskurin sijoittamista keskiviikolle, jolloin ensimmäisen tahdin työt olisi voitu ottaa kiinni. Kohteessa 1 kelluvapuskuri varmistettiin menekkilaskelmien avulla. Työvaiheiden väliin sijoitettuja puskureita tai vaunupuskureita (Binninger et al., 2017) on käytetty pintabetonilattioiden teon jälkeen yhden tahdin verran. Junien suunnittelusta ei tarkemmin löytynyt kirjallisuudesta tietoa. Binninger et al. (2017) ohjaustoimenpiteissä on mainintaa useamman junan käytöstä, jolla voidaan parantaa työntekijöiden tehokkuutta sekä mahdollistaa pehmeä aloitus junien välillä. Puskurien ja junien suunnittelua varten on selvítettävä lisää kohteista ja kuinka siellä on suunniteltu.

Tahtisuunnittelun tarkoituksena on työvirtauksen jatkuvuus, mutta riskinä on kapasiteettihäviöt nopeammilla urakoitsijoilla, joiden kapasiteetin määrittelee pullonkaulaurakoitsija. Kapasiteettihäviön ongelmaan on ehdotettu varamestojen käyttäminen. (Seppänen, 2014) Varamestojen suunnittelua varten tulee selvittää lisää konkreettisia esimerkkejä.

Tahtiohjaus

Oman organisaation ymmärryksen parantaminen tahtituotannosta saadaan yhteistoiminnallisella tahtisuunnittelulla, jolloin mukana on oma organisaatio sekä urakoitsijoiden edustajat. Yhdessä tehtävä vaihteittainen työsuunnittelu lisää osapuolten ymmärrystä.

Oman organisaation ymmärrykselle vaikuttaa myös motivointi. Binninger et al. (2017) mukaan osapuolia tulisi osallistaa ongelmanratkaisuun ja tahtitapaamisiin, jolla ylläpidetään ymmärrystä. Ymmärryksen luomista varten tarvitaan lisää konkreettisia työkaluja ja niitä on tarkoitus kohteissa 2 ja 3 selvittää.

Kirjallisuudessa ei ollut mainintaa materiaalihankinnan muokkaamista tahtituotannolle sopivaksi. Kuitenkin imuohjausta esitettiin yhtenä Leanin pääperiaatteena ja sen tarkoituksena on tuottaa materiaalia täsmälleen, kun sitä tarvitaan. Tätä periaatetta tulisi käyttää hyödyksi myös materiaalitoimituksissa, jolloin kaikkia materiaaleja ei tarvitsisi varastoida työmaalle.

Fransson et al. (2015), Haghsheno et al. (2016) ja Binninger et al. (2017) mukaan lyhyt-tyklinen työnohjaus on tärkeää tahtiohjauksessa. Tahtiaikaa lyhyemmällä työnohjauksen syklillä voidaan ennakoida alueiden luovutukset ja varmistaa töiden valmistumisen annettussa tahdissa. Päivittäinen tahtitapaaminen toimii työkaluna lyhyt-tykliseen tahtiohjaukseen. Linnik et al. (2013) esittivät myös viiden päivän tahdin käyttöä mahdollistamaan alueiden luovutuksen ajallaan. Töiden valmiiksi saattamiseen tahdissa vaikuttaa myös korjaustyöt ja ne tulisi Emdanat et al. (2016) mukaan tunnistaa riskinä sekä suunnitella niiden pienentämiselle toimintatavat yhteistoiminnallisesti. Fransson et al. (2015) myös ehdotti ohjaustoimenpiteenä töiden saattamista loppuun ylityönä eli työpäivän päätteeksi tai kiinteiden puskureiden osoittamalla ajalla.

Kohteessa 1 haasteeksi koitui myös työn suorittaminen loppuun annetussa tahdissa. Tämä johtaa siihen, että työpisteelle on pakko palata tahdin jälkeen korjaamaan puutteet tai tekemättömät työt. Töiden valmiiksi saattaminen on tahtituotannon kannalta tärkeää. Mitä pidemmälle projektissa mennään, sitä isommaksi korjaustyön ongelma kasvaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, ettei seuraava työryhmä voi saada työtilaa täysin valmiiksi, jos edellisellä työryhmällä on jäänyt jokin tehtävä kesken tai kokonaan tekemättä. Näin ollen virheiden tai puutteiden määrää kertaantuu jokaisella alueella sitä mukaan, mitä enemmän eri työvaiheita alueella on. Lisäksi tämänkaltaiset ongelmatilanteet aiheuttavat paljon niin sanottua hyppimistä eli mennään alueelta toiselle suorittamaan puutteellisia sekä kesken-eräisiä työtehtäviä. Tahtituotannon tarkoituksena juuri vähentää tämänkaltaista työskentelyä ja tehdä työtehtävistä sujuvampia sekä tasaisempia eli liukuhihnamaisempaa. Kirjallisuudessa esitetäänkin, että korjaustyöt tulee tunnistaa riskinä ja niitä varten tulee kehittää toimenpiteitä (Emdanat et al., 2016). Tärkeäksi toimenpiteeksi tutkimuksessa esitettiin korjaustyön dokumentointi.

Varamestojen työnohjausta varten ei ole kirjallisuudessa esitetty toimintatapaa. Kuitenkin Seppänen (2014) ehdotti urakoitsijoiden kapasiteetin ylläpitämiseksi nopeampien työvaiheiden työntekijöiden siirtoa varamestalle töihin. Näin ollen varamestojen työnohjaus vaatii lisää selvitystä.

Työn tasaisuus ja virtauttaminen lähtee jo Leanin pääperiaatteesta. Tasaisuuden ylläpitämiseksi on ehdotettu ohjaustoimenpiteitä (Binninger et al., 2017). Tasaisuuteen vaikuttaa myös tahtisuunnitelma. Kalifornian mallissa onkin tarkoitus iteroiden tasapainottaa työtä. Tahtituotanto ei ole toimiva, jos tuotannon aikana ilmenee paljon odottamattomia muutoksia sekä variansseja (H9). Tällaisten tilanteiden ehkäisemiseen voidaan vaikuttaa merkittävästi tahtialuejaolla. Aluejaolla pystytään ennakoimaan sekä ehkäisemään ongelmatilanteet tuotantovirtauksen tasaisuuden osalta. Varamestojen käytöt luovat tasaisuutta resurssoinnin suhteen. Päivittäiset tahtitapaamiset auttavat ennakointiin ja ylläpitämään tasaisuutta.

Tuotantonopeuden suunnitelmallinen seuraaminen auttaisi ennakkoinnissa, sillä se auttaisi seuraamaan tehokkaammin tahdin mukaisten tehtävien valmistumista ajallaan. Tuotantotasoa ei laskelmallisesti seurattu kohteessa ja tämä voisi selvittää onko urakoitsija tuotantonopeus menekkien mukaisella tasolla sekä saadaanko työ tahdissa valmiiksi. Tuottavuuden seuranta varten on esitetty digityökaluja, jolloin manuaalinen työ vähenisi (Emdanat et al., 2016). Tarvitaan seurantatyökalua, joka seuraa toteumaa reaaliajassa tietoteknisten sovellusten avulla. Mahdollisia työkaluja tai tapoja tulee selvittää lisää kohteista 2 ja 3.

Tahtimaisella urakoitsijalaverikäytännöllä voisi saada tahtituotannon ajattelumallia tuotua enemmän urakoitsijoiden tietoon sekä osaksi heidän työtehtäviä. Kirjallisuus ei esittänyt tarvetta tai mallia, kuinka urakoitsijalaverit saisi muodostettua sopivammaksi tahtituotantokohteeseen. Perinteinen tapa käydä urakoitsijan työtehtävät läpi työvaiheiluvoituksen mukaisesti pitäisi olla turha, sillä nämä tehtävät ovat tarkasti määritettynä tahtiaikataulussa.

Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon

Kuten kohteessa 1 todettiin, oli suunnittelulla merkittävä vaikutus tahtituotantoon. Kirjallisuus ei esittänyt suunnittelun ongelmiin suoraan toimenpiteitä tai prosessia tahtituotantoa varten. Käyttäjämootosten takia jouduttiin muuttamaan väliseiniä ja odottamaan suunnitelmia kohteessa 1. Perinteisellä aikatauluttamisella ongelmaa ei ehkä olisi koettu niin suureksi, sillä tietyille kerroksille olisi mahdollisesti jätetty enemmän aikaa. Lisäksi projektiorganisaatiolla saattoi olla tahtituotannosta näkemys, että tahtisuunnitelma on joustamaton. Eikä tahtiaikataulun mukaista järjestystä voi enää muuttaa. Toisaalta jakamalla alueet pienempiin tahtialueisiin ja kirjallisuudessa esitettyjen ohjaustoimenpiteiden (Binninger et al., 2017) käyttö olisi voinut mahdollistaa tahtituotannon jatkuvuuden. Käyttäjämootosten aikatauluttaminen tahtituotantoon sopivaksi on ongelma, jolle etsitään ratkaisua myöhemmistä tapaustutkimuksista. Myöskään kirjallisuudesta ei löydy suoraa vastausta, kannattaako käyttäjämootoksia merkitä tahtiaikatauluun eikä vastausta, mihin valmiusasteeseen asti tiloja kannattaa rakentaa, jos muutoksia on tiedossa. Tarvitaan lisäselvitystä, miten esitetyssä tilanteessa pitäisi toimia sekä kuinka näitä ongelmia voitaisiin ennaltaehkäistä tai tarvittaessa ratkaista. Onnistunut tahtituotanto vaatiikin ajan tasalla olevat suunnitelmat.

5 Empiirinen tutkimus

Tässä luvussa esitetään tuloksia San Franciscossa pidetyistä asiantuntijahaastatteluista ja tapauskohteista, joissa käytiin paikan päällä havainnoimassa. Luvun alussa esitetään asiantuntijatulokset ja tämän jälkeen esitellään tulokset tapauskohteista. Tapauskohteiden tuloksissa vertaillaan myös asiantuntijahaastattelun ja tapauskohteiden tuloksia.

5.1 Asiantuntijahaastattelut

Asiantuntijahaastatteluiden tarkoituksena on selvittää kohdeyritysten ulkopuolisia näkemyksiä tahtituotannosta sekä eri näkökulmia tahtituotannon toteutukseen. Tarkoituksena on myös luoda yleinen kuva tahtituotannon tasosta Kaliforniassa. Haastateltavien kanssa käytiin keskustelua yleisesti tahtituotannosta. Aineiston keruu tapahtui siis haastatteluilla, jossa kyselyrunkoa käytettiin tarvittaessa pohjana.

Lean -menetelmien käyttöönotto kasvatti Yhdysvalloissa suosiota 2000-luvun alkupuolella. Lean -ajattelumallia käyttävät rakennusliikkeet asettivat rakennusmarkkinoilla paineita ottaa Lean -ajattelumalli käyttöön, sillä yritykset hyötyivät uuden ajattelumallin tuomista eduista merkittävästi ja ajattelumallia käyttävät yritykset pärjäsivät alalla paremmin kuin muut. Tahtituotannossa käytettyä yhteistoiminnallista rakentamista on käytetty Yhdysvalloissa ainoastaan viiden viimeisen vuoden aikana. Tähän ollaan päästy yhteistoiminnallisen urakoinnin sekä Last Planner -ohjelman ansiosta (H11). Vaikka kiinnostusta yhteistoiminnallisuutta kohtaa löytyy eri osapuolilta, pääurakoitsijan ja urakoitsijan välinen avoin kommunikointi voi aiheuttaa vielä toistaiseksi haasteita, sillä avoimuudesta ei ole syntynyt yleistä käytäntöä alalla. Eroavaisuuksia kommunikoinnissa sekä tiedon jakamisessa voikin esiintyä merkittävästi eri projekteissa. Vielä on kuitenkin kehitettävää yhteistoiminnallisuudessa (H11).

Rakennusalan kulttuuri ei eroa maantieteellisesti niin merkittävästi. Joitakin pieniä eroavaisuuksia saattaa kuitenkin esiintyä, mutta ei sellaisia eroja, joilla olisi merkitystä pitkällä tähtäimellä. Esimerkiksi joissakin maissa on enemmän sosialisoitumista kuin toisissa. Yhteistoiminnallisessa rakentamisessa esiintyy joitakin eroja Yhdysvaltojen ja Suomen välillä. Esimerkiksi Suomessa allianssiprojekteihin otetaan mukaan tilaaja, pääurakoitsija ja suunnittelijat. Yhdysvalloissa taas otetaan mukaan projektin kannalta merkittävimmät urakoitsijat. Yhdysvaltain allianssiprojekteihin kuuluu pääurakoitsija, insinööri- tai konsulttitoimistot sekä urakoitsijat. (H11)

5.1.1 Tahtisuunnittelu

Projektit ilman tahtisuunnitelmaa voivat muuttua niin kompleksisiksi, että niiden hallitseminen muuttuu mahdottomaksi. Varsinkin isot ja megaprojektit ovat erityisen haavoittuvaisia ja yhdenkin asian epäonnistuminen voi sekoittaa kokonaisuuden hallinnan. Suurissa projekteissa tahtisuunnitelman käyttö onkin kriittistä onnistumisen kannalta. Tahtisuunnitelma ei saisi seurata liian tiukasti pelkästään teoriaa, vaan suunnitelma pitäisi kehittää joustavasti projektin tarpeet huomioon ottaen. Yhteistoiminnallisen tahtisuunnittelun parhaita ominaisuuksia on juuri yhdessä suunnittelemisen, sillä kaikki ovat tasapuolisesti vastuussa lopputuloksesta eikä virheen sattuessa voida syyttää pelkästään yhtä tiettyä osapuolta. Yhteistoiminnallisesti tehty tahtisuunnitelma auttaa myös estämään tuotantosuunnitelmasta poikkeamista, sillä suunnitelma on yhdessä luotu ja käytännöt sovittu. (H12)

Tahtituotanto ei ole (H12) mielestä matemaattinen ongelma, vaan ennemmin tahtisuunnitelman ongelmaksi koituu sen selkeys sekä suunnitelman kokonaisvaltainen ymmärtäminen. Kuitenkin (H13) mielestä ideaalisen tahtituotannon implementointiin tarvittaisiin lisää laskennallisuutta. Laskennallisen tahtisuunnitelman isoimpia ongelmia piilee siinä, ettei kyseisellä suunnittelutavalla päästä koskaan optimaaliseen resursointiin ja (H13) pitää tätä erityisen haastavana Pohjoismaissa.

Kahden päivän tahti ei pidetty toimivana, koska siitä syntyy vaihtelevuutta, johon työntekijät eivät ole tottuneet (H12). Vaihtelevuudella tarkoitetaan esimerkiksi sellaisia tilanteita, joissa tietyt työtehtävät kuten tarkastukset, voivat olla eri päivinä eri viikoilla. Onnistumisen kannalta onkin tärkeää pitää kiinni viikoittaisista rutiineista ylläpitääkseen vakaata ja stabiilia työympäristöä. Liian lyhyt tahti ei myöskään mahdollista sopeutumista tahtiin sekä tehtäviin, jolloin tuotannon varianssi kasvaa. Joissakin projekteissa käytetään myös kahden ja puolen päivän tahtia. Kyseinen tahtiaika on (H12) mielestä ihan toimiva, mutta haasteeksi muodostuu puuttuva puskuri ensimmäisen osan jälkeen.

Tahtisuunnittelua varten on tärkeää saada kaikki osapuolet mukaan suunnitteluun jo projektin aikaisessa vaiheessa. Tahtisuunnitelmat kannattaisi tehdä myös 2D-kuviin, vaikka tietomalli pyörisikin taustalla. 2D-kuvat voidaan laittaa päällekkäin ja niiden avulla voidaan esimerkiksi helposti selvittää, millä alueilla on erityisen paljon työtä. Tahtisuunnittelussa tärkeintä on kuitenkin ottaa urakoitsijat sekä pääurakoitsijan työnjohtajat mukaan prosessiin. (H12) Tämä on haastateltavan mielestä enemmän sosiaalinen, kuin tekninen ponnistus. Lopputuloksena on tarkoitus saada kaikki urakoitsijat ymmärtämään tahtiaikataulun hyödyt sekä aidosti haluamaan suorittaa omat työtehtävänsä yhteisen tahtiaikataulun mukaisesti.

Standardoidun tahtiaikataulupohjan tekeminen voisi onnistua, mikäli se tehtäisiin projektityypeittäin. (H11) Kuitenkin (H12) näkee, että tahtisuunnitelmaa voidaan hyödyntää muiden samankaltaisten projektien osalta. Kyseistä pohjaa voitaisiin käyttää aloituspisteenä, mutta jokaisen projektin osalta täytyisi osata erikseen ottaa huomioon projektin yksilölliset ominaisuudet sekä vaatimukset ja tehdä tahtisuunnitelmapohjaan tarvittavat korjaukset (H11 ja H12). Onkin tärkeää miettiä paikallista kontekstia, jossa pohjaa voitaisiin parhaiten hyödyntää. Esimerkiksi sairaalaprojektin tahtisuunnittelua voidaan hyvin hyödyntää pienin muutoksin seuraavan sairaalaprojektin rakentamisessa (H12). Edellisen projektin tahtisuunnitelmaa voidaan pitää perustana seuraavalle projektille, jolloin osapuolten sitouttaminen on helpompaa. Sitouttamisen jälkeen kehitetään iteroinnilla tahtisuunnitelmasta juuri sopiva kyseiseen projektiin. Monistettavuuden haasteena pidetään projektien työjärjestysten muuttumista, jolloin saman tahtisuunnitelman hyödyntäminen ei välttämättä onnistu. (H12)

Aikatauluttaminen voi jakaa eri tasoihin (H12). Ensimmäisessä tasossa suunnitellaan yleisaikataulu, johon määritetään projektin tavoitteet. Tämän jälkeen tehdään vaiheaikataulu, jonka tarkoituksena on jakaa jokainen vaihe pienempiin osiin. Tämä taso on tuotantostrateginen taso ja se sisältää jo varsinaista tahtiaikataulun tekoa (H12). Vaiheaikataulun jälkeen siirrytään tahtiohjauksen ennakointiin sekä varsinaisiin päivittäisiin tahtitapaamisiin (Daily Huddle).

Tahtiaikataulussa olevien tahtijunien käyttö on riippuvainen tilanteesta. Joskus täytyy olla käytössä useita junia, jotta projektin osalta pysyttäisiin aikataulussa. Lisäksi junien määrän valintaan vaikuttaa, halutaanko työvaiheisiin nopeutta vai tasaisuutta. Yhdellä junalla pystytään helpommin ennakoimaan työtehtäviä sekä töiden tasaisuutta. (H12) käyttäisi

yhtä tai maksimissaan kahta junaa. Hän kuitenkin varmistaisi, että junat ovat samanlaisia läpi koko projektin. Mikäli työjärjestys on eri vaiheissa tai eri alueilla erilainen, tulee projektissa käyttää useampaa junaa. (H12) Haastateltava 11 oli myös sitä mieltä, että useamman junan käyttö toimii erityisen hyvin tilanteissa, joissa on toisistaan poikkeavia tahtialueita. Mikäli tahtialueet ovat taas samanlaisia, silloin useammalla junalla voi lisätä nopeutta projektin kulkuun.

Varamestat

Kaikkia projektin alueita ei pitäisi toteuttaa tahdissa (H12). Tahtisuunnitelmasta tulee haavoittuvaisempi mitä enemmän pyritään sisällyttämään erilaisia tiloja osaksi suunnitelmaa. Tahdin ulkopuolelle pitäisi jättää sellaiset alueet, joissa on erilainen työjärjestys. Tämänkaltaisia tiloja ovat esimerkiksi tekniset tilat, toimistorakennusten aulat sekä hissiaulat. Tämänkaltaisten tilojen osalta voitaisiin tehdä imuohjaussuunnitelma. (H12) Osittain samaa mieltä on (H11), mutta näkee tilanteen hyvin projektiriippuvaisena. Tärkeintä on, että kaikki työvaiheet suoritetaan onnistuneesti tahdissa (H11).

On kuitenkin huomattu, että löytyy myös hyötyjä tilanteissa, joissa kaikkia työtehtäviä ei suoriteta tahdissa. Yksi näistä hyödyistä on pitää tahtialueita tai työtehtäviä vaihtoehtoisilla alueilla ylikapasiteetin varalle. Ylikapasiteettia voidaan hyödyntää urakoitsijoiden resursoinnissa. Tämänkaltaisissa tilanteissa voidaan hyödyntää ylimääräisiä työntekijöitä ennakkointiin ja selvittämään mahdollisia ongelmia. Varamestoja ei tulisikaan suunnitella osana tahtia, sillä aiempien kokemusten mukaan varamestojen käyttö ei ole onnistunut. Haasteita aiheuttaa varamestojen käytössä alueluovutukset, jos työtehtävät ovat vielä keskeneräisiä. Tämä johtaa taas korjaustyökierroksiin. (H11)

Puskurit

Tahtituotannossa tulisi käyttää resurssipuskurin lisäksi aikapuskuria. Aikapuskuri tulisi sijoittaa haasteellisten työvaiheiden loppuun, jolloin voidaan välttyä korjaustyökierroksilta. Kuitenkin periaatteena on se, että tällaisia ongelmatilanteita pyritään välttämään ennakkoinnilla ja mietitään jo etukäteen, mitä voitaisiin tehdä toisin. (H11)

5.1.2 Tahtiohjaus

Junan pysäytyksestä ohjaustoimenpiteenä esitettiin, että on yleisesti puhuttu, kun juna lähtee, sitä ei enää saisi pysäyttää (H11). Hän näkee kuitenkin merkittävän ongelman tässä ajattelutavassa. Esimerkiksi yhdessä isossa projektissa tämä ajattelutapa aiheutti paljon korjaustöitä. Toisessa projektissa taas työtehtävät tehtiin 90 prosenttisesti valmiiksi ja näin ollen eri tiloissa oli eri työtehtäviä tekemättä. Työn loppuun saattamiseen eli keskeneräisten (10%) työtehtävien tekemiseen käytettiin noin 30 prosenttia koko projektin budjetista. Tahtialuetta ei pitäisi luovuttaa seuraavalle urakoitsijalle keskeneräisenä. Ongelmaksi voi aiheutua keskeneräisen työn jatkamisen osalta se, että seuraava urakoitsija voi peittää edellisen jättämän työn. Tästä syystä alueen tarkastajan ja työntekijän välisen koordinoinnin tulee olla toimiva. (H11)

Kohteessa 1 työn saattaminen loppuun tahdissa aiheutti haasteita ja loi korjaustyökierroksia. Korjaustyökierroksen ongelmana pidetään sitä, ettei se ole systemaattinen prosessi (H11). Kuitenkaan korjaustyökierrokset eivät aina ole vaarallisia (H11). Korjaustyöt eivät aiheuta haasteita, jos ne voidaan suorittaa loppuun häiritsemättä toista urakoitsijaa tai vai-

kuttamatta muiden työtehtäviin. Ongelma voi koitua, jos urakoitsija ei saa aluettaan valmiiksi suunnitelma- tai materiaalipuutteen takia. Projektin kokonaiskapasiteetti on kuitenkin hyvin joustava ja usein saadaan jälkeen jääneet työtehtävät helposti kirittyä. (H11) Kuitenkin yksi näkökulma on se, että on tärkeää saada työtehtävät suoritettua valmiiksi annetussa tahdissa (H13).

Tahtiohjausta pitäisi seurata mittarilla, jossa lasketaan työtunnit per alue per viikko. Projektin kulkua sekä tahdin kokonaistilannetta on seuratta sitä mukaan, kun rakennetaan. Esimerkiksi yhdessä kerroksessa on 4 työaluetta ja näiden alueiden valmistumiseen on varattu yhteensä 100 tuntia. Jokaisen alueen jälkeen pitää olla tieto, kuinka monta tuntia alueen työstämiseen on käytetty ja kuinka paljon tunteja on vielä jäljellä. Ei voida kuitenkaan olettaa, että jokainen alue suoritetaan tasan samassa ajassa, sillä jokaisessa tuotannossa esiintyy aina variansseja sekä muita muuttuvia tilanteita. Mittarin perusteella osataan kuitenkin arvioida, miten alueella ollaan suoriuduttu, jos alue on valmistunut esimerkiksi 23:ssa tunnissa. Tämä mittari auttaa ymmärtämään, mitä projektissa seurataan ja voidaan todistetuksi osoittaa, miten jotkut suoriutuvat työstään paremmin kuin toiset. Mittaria voidaan hyödyntää myös työntekijäresurssoinnin osalta, sillä työtä voidaan optimoida ottamalla tehokkaampia työntekijöitä. Lisäksi voidaan seurannan tiedoilla muuttaa tahtisuunnitelman työjärjestystä tarvittavalla tavalla. (H12)

5.1.3 Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon

Tahtisuunnittelu pitäisi sisällyttää osaksi yleistä suunnittelua. Suunnittelijoiden on kriittistä ymmärtää tahtituotannon implementointiprosessi eikä rakentamista voida aloittaa ennen kuin suunnitelmat ovat kunnossa myös tahtituotannon näkökulmasta. Tahtisuunnittelun ansiosta suunnittelijoille pystytään antamaan hyvin tarkka aikataulu toteutuksen osalta. Tahtisuunnitelman myötä voidaan esittää kriittisimmät suunnitelmat. Projektin alkuun voidaan lisätä kahden viikon puskuri, jonka aikana suunnitelmien tulee olla valmiita. Yhdysvalloissa urakoitsijat käyttävät omia suunnittelijoita ja (H12) mielestä samanlaiseen toimintatapaan tulisi siirtyä myös Pohjoismaissa. Suunnittelu ei saisi vaikuttaa merkittävästi tahtiin, sillä työsuunnitelmat on jo työtehtävien osalta tehty ja suunnittelu vaikuttaisi vain työtahdin hidastumiseen. Esimerkiksi esivalmistettujen tuotteiden käyttöä varten tulisi suunnitelmien olla ajoissa valmiit. (H12)

Käyttäjämuutosten osalta on tehtävä strateginen päätös, kuinka paljon halutaan rakentaa ennen lopullisia suunnitelmia. Esimerkiksi muutoksen koko vaikuttaa merkittävästi työtehtäviin eikä tehtävien suorittamista kannata aloittaa, jos varianssi on liian korkea. (H12) Hän pitääkin ongelmana sitä, ettei tahtituotantoprosessia oikein ymmärretä. Ymmärryksen puutteesta kertoo varsinkin ajatus siitä, että muutoksia ja muokkauksia voidaan tehdä milloin vaan. Tähän vaikuttaa lisäksi myös tilaajan päätös ja se, kuinka onnistuneesti pääurakoitsija osaa kertoa tahtisuunnitelman piirteistä tilaajalle. Paras tapa esittää tilaajalle projektin toteutuksen työsuunnitelma on käyttää visuaalisia (H12).

5.1.4 Tahtituotannon implementoinnin haasteet

Tahtituotannon implementoinnin osalta esiintyy edelleen paljon haasteita myös Pohjois-Kaliforniassa, vaikka prosessia on käytetty siellä jo monien projektien osalta. Yhtenä haasteena tämän osalta pidetään yliopiston sekä yritysten välisiä eroavaisuuksia käytännön ja teorian osalta. Haasteena on myös psykologisen turvallisuus eli kaikki osapuolet pitäisi saada keskustelemaan keskenään enemmän tahtituotannosta eri näkökulmista. Ongelmia aiheuttavat tämän osalta kuitenkin mahdollinen kielimuuri ja kulttuurierot. (H13)

Tahtituotannon haasteena pidetään ymmärryksen puutetta eli monet eivät tiedä, mitä tahtituotantoprosessi on, miten prosessi toimii sekä mitkä ovat prosessin hyödyt. Huomiota on myös herättänyt se, ettei tahtituotantoprosessia osata hyödyntää ympäri maailmaa. (H11) Yrityksissä ymmärretään sisäisesti hyvin tahtituotantoprosessi, mutta urakoitsijat eivät välttämättä prosessia ymmärrä eivätkä tiedä mitä heiltä odotetaan (H13). On varmistettava, että tahtialueiden ja tuotannon määrät ovat sopivia. Toisena haasteena on se, että kaikki urakoitsijat on saatava ymmärtämään, että projektissa ollaan tahdin osalta toisissaan ja kaikkien on toimittava myös tahdin mukaisesti. Tämä linjaus on tehtävä jo aikaisessa vaiheessa, jotta urakoitsijoilla on asiasta tieto sekä osaavat toimia sen mukaisesti. Lisäksi urakoitsijoille on painotettava tahdin pituutta ja tahtialuetta. Jos he eivät ole valmiita suorittamaan työtehtäviään tietyssä tahdissa ja tietyllä alueella, heidän tulee suorittaa työt loppuun viikonloppuisin. He eivät siis saa toimia tahdin kulun esteenä. (H12)

Haasteita aiheuttaa myös se, että urakoitsijoille tärkeintä projekteissa on turvata omat taloudelliset intressit. Tahtituotannon strukturointi johtaa siihen, että urakoitsijat saavat rahansa ainoastaan toteuttamansa tuloksen osalta. Urakoitsijoiden pitää ymmärtää hyötyvänsä taloudellisesti enemmän tahtiskenaariossa. Onkin varmistettava, että joku osaa konkreettisesti osoittaa tämän urakoitsijoille. Tahtituotannon ansiosta yhteistoiminnallinen tuki urakoitsijoiden välillä paranee. Tämä vaatii kuitenkin aktiivista johtamista. Voidaan olla melko varmoja ja luottavaisia, että urakoitsija toimii tahtisuunnitelmien mukaisesti, jolloin tiedetään, mitä tietty urakoitsija tekee esimerkiksi kuuden viikon päästä. Tämä auttaa suunnittelemaan sekä ennakoimaan materiaalitarvetta sekä -virtausta. (H11)

Logistiikka haasteita varten on varmistettava, että toimituksen saapuvat oikeaan aikaan ja ne asetetaan heti oikeaan paikkaan. Lisäksi on varmistettava, ettei urakoitsijat tuo kaikkia materiaalejaan tietylle tahtialueelle. Tämä voi aiheuttaa ongelmia urakoitsijoille, sillä toimitusten määrä kasvaa, kun ei voida kerralla tilata kaikkea etukäteen. Ongelma voidaan kuitenkin ratkaista sillä, että seurataan jatkuvasti tuotannon kulkua. Tällöin tiedetään materiaalien määrät sekä niiden sijainnit. On tärkeää, että resurssit sekä toimitukset ovat linjassa tahtialueiden kanssa. Materiaalien osalta voi ongelmia koitua esimerkiksi sellaisissa tilanteissa, kun työt täytyy pysäyttää. (H12)

Projektissa esiintyviä haasteita voi kategorisoida seuraavalla tavalla. Pienet ongelmat korjataan tahdin aikana tai myöhemmin, mutta tarpeeksi isojen ongelmien (jotka vaikuttavat koko alueeseen) osalta pysäytetään työskentely kyseisellä alueella ja suoritetaan työtehtävät loppuun myöhemmin. Mikäli kyse on taas suunnitelmamuutoksesta, koko alue tulee siirtää pois tahdistä ja kehittää uusi työsuunnitelma. Vaikka tahtituotannon osalta on kohdattu erilaisia haasteita, tahtiprojektit ovat silti olleet menestyksekkäämpiä projekteja (H12). Ongelmista pystytään selviytymään hyvin, jos tahtisuunnitelma on suunniteltu tarkasti ja kaikki osapuolet ymmärtävät projektin sekä prosessin laajuuden. Tahdistä ei pidä tehdä liian vaikeaa, vaan tahdin pitää ohjata luontaiseen sekä tasaiseen toimintaan, jotta työntekijät luottavat tahdin toimivuuteen. (H12)

5.2 Tapauskohteiden esittely

DPR on yhdysvaltalainen rakennusalan yritys, jonka toimialana on pääurakointi sekä rakennuttaminen. DPR on muihin rakennusalan yrityksiin verrattuna nuori, sillä yritys on perustettu vuonna 1990. Yrityksen tahtotila on kehittyä Lean-menetelmissä ja niitä yritetään koko ajan tuoda enemmän esille yrityksen eri prosesseissa. DPR pyrkii olemaan laadun ja innovatiivisuuden osalta rakennusallalla samankaltainen esikuva kuin mitä Toyota oli autoteollisuudelle (DPR Construction, 2018).

Kohteiden aineisto on kerätty haastatteluilla, havainnoinnilla ja dokumenteilla. Kohteissa haastattelut on käyty läpi haastattelurungon kautta. Kuitenkin urakoitsijahaastatteluissa keskityttiin enemmän urakoitsijoiden näkemykseen tahtituotannosta. Haastattelurungon kysymyksiä käytettiin kuitenkin apuna. Havainnointi on suoritettu työmaalla sekä muutamassa palaveriin osallistumisella. Dokumentit on osittain saatu sähköisenä, mutta osaa dokumenteista pääsi tutkimaan vain paikan päällä. Analysointi onkin tapahtunut osittain paikan päällä ja jälkeinpäin.

Kohde 2

DPR rakentaa yksityiselle lääketieteellisuuden yhtiölle tutkimus- ja toimistotiloja sisältävän rakennuksen, josta käytetään tässä diplomityössä nimitystä kohde 2. DPR toimii projektissa pääurakoitsijana ja projektin toteutusmallina on käytetty kokonaisvastuu-urakkaa (Design-Build). Rakennuksessa on yhteensä yhdeksän kerrosta ja se on pinta-alaltaan noin 28 000 m² (300 000 sq ft). Kohteen rakennusajaksi oli aluksi suunniteltu 36 kuukautta ja sisävalmistusvaihe oli alun perin 24 kuukautta. Vierailun aikana kohde oli sisävalmistusvaiheessa. Pääurakoitsijalla oli kohteessa eri työvaiheille (kuten runkovaihe ja sisävalmistusvaihe) eri työnjohtajat ja insinöörit. Haastattelut on pääosin pidetty sisävalmistusvaiheen ryhmän kanssa ja tämän kohteen osalta keskitytään pääsääntöisesti sisävalmistusvaiheeseen.

Kohde 3

Kohde 3 on myös DPR:n rakentama kohde Pohjois-Kaliforniassa. Yliopistolle rakennettava neurokirurginen tutkimuslaitos, joka sisältää tutkimus- ja hoitotiloja. Projektin toteutusmuotona on käytetty integroitu projektitoimitustapaa (Integrated Project Delivery). Kohde toteutetaan Lean Integrated Project Delivery -prosessilla. Prosessin lähtökohtana toimii Lean -ajattelumalli. Rakennuksen pinta-ala on valmistuttuaan noin 25 000 neliometriä ja kerroksia on yhteensä kuusi. Tutkimustilat ovat pääosin ylemmissä kerroksissa ja hoitotilat alimmissa kerroksissa. Hanke aloitettiin tammikuussa 2018 ja arvioitu valmistumisaika on huhtikuussa 2020. Vierailun aikana työmaalla oli käynnissä runkovaihe ja sisävalmistusvaiheen tahtisuunnittelu oli aloitettu. Kohteessa haastateltavat henkilöt olivat sekä runko- että sisävalmistusvaiheen organisaatiosta. Kuten kohteessa 2, myös tässä projektissa pääurakoitsijalla on eri organisaatio runkovaiheelle ja sisävalmistusvaiheelle.

5.3 Tahtisuunnittelu

Kohteissa 2 ja 3 tahtisuunnittelu oli keskusteluiden mukaan tehty Kalifornialaisen mallin pohjalta. Kalifornialainen tahtisuunnittelu on esitetty aiemmin kirjallisuuskatsauksessa. Tämän tiedon rajoitteena on se, että tutkija ei päässyt itse havainnoimaan onko näin todella tehty.

Kohde 2

Lean -ajattelu otettiin kohteessa aikaisin mietintään. Siitä seurasi tilaajan päätös ottaa tahtituotanto käyttöön kohteessa. Tahtituotannon käyttöönotosta olikin päätetty jo monia kuukausia ennen rakentamisen aloittamista, jota pidettiin ainutlaatuisen tilanteena, että tahtisuunnittelulle jäisi niin paljon aikaa (H3). Tahtisuunnittelu aloitettiinkin 6 kuukautta ennen rakentamisen aloittamista. Näin saatiin myös lisättyä syvällisempi ymmärrys tahtituotannosta projektin eri osapuolille ja käsitys, kuinka tahtituotantoa tulisi toteuttaa.

Tahtisuunnitelmilla ja muilla Lean –menetelmillä saatiin lyhennettyä rakennusaikaa 24 kuukauteen ja sisävalmistusvaiheen läpimenoaika vähentyi 6 kuukaudella.

Kohteessa 2 tahtituotanto oli lähes kaikille projektiin osallistuville osapuolille uusi prosessi ja oli DPR:n ensimmäinen tahtiprojekti. DPR:llä on käytössään Lean-asiantuntijoita, joiden tietämystä sekä osaamista käytettiin kohteissa 2 ja 3. Tahtisuunnitteluvaiheessa ei päästy aina yhteisymmärrykseen urakoitsijoiden kanssa tahtituotannon osalta. Tämä johti taas siihen, että pääurakoitsija joutui vielä tahtisuunnitteluvaiheessa vaihtamaan joitain urakoitsijoita. Tahtisuunnitelman yhteensovittamista käytiin läpi urakoitsijoiden kanssa ensimmäiset 2-3 kuukautta. Oli erittäin tärkeää selvittää, toimiiko järjestys kaikkien osapuolten mielestä. Lisäksi urakoitsijoilta selvitettiin myös heidän ajallinen tarve tiettyihin työtehtäviin tietyillä tahtialueilla sekä työjärjestys. Tahtisuunnitelman onnistumisen kannalta on kriittistä saada kaikki toteuttavat osapuolet mukaan suunnittelemaan tahtia (H6). Varsinkin kun työhön käytettävä aika on muutettu vakioksi (tahtiaika), jää urakoitsijan vastuulle suunnitella tarvittava työvoima suorittamaan työt annetussa tahtiajassa.

Kohteen urakoitsijan edustajan mielestä tahtituotanto toimii erittäin hyvin sisävalmistusvaiheen taloteknisten ja seinien runkotöiden osalta sekä menettelevästi viimeistelyvaiheen osalta. Hän pitää myös tahtituotantoprosessia pääasiassa toimivana prosessina, mutta hän näkee prosessissa myös ongelmakohtia. Kuitenkin isoimpana etuna pidetään tarkkaa etukäteen suunnittelua, vaikka se vaatiikin paljon resursseja urakoitsijalta ja pääurakoitsijalta. Hyödyllisyys tulee esille sillä, että tahtisuunnittelu poistaa eri urakoitsijoiden työryhmien työn kasautumisen samaan tilaan yhtäaikaaisesti, joka nähdään rakennus- alalla merkittävänä ongelmana vaikuttaen yhteistyöhön negatiivisesti. (H6)

Kohde 3

Kohteessa 3 tahtisuunnittelu aloitettiin myös kuusi kuukautta ennen rakennustöiden aloittamista ja suunnitelma valmistui noin 1-2 kuukautta ennen töiden varsinaista aloitusta. Tämän jälkeen suunnitelmaa hienosäädettiin tarpeen mukaan. Näin aikaista tahtisuunnittelun aloitusta pidettiin harvinaisena (H7) Kohteessa oli siis mahdollisuus tehdä tahtisuunnittelua ennen kuin suunnittelijoiden suunnitelmat ovat valmiita. Näin ollen heillä on myös mahdollisuus vaikuttaa kohteen suunnitelmiin. Tahtituotantoa ei valittu toteutustavaksi kuin vasta projektin aikana. Tahtisuunnittelussa mukana olevat työnjohtajat ovat samoja henkilöitä, jotka tulevat myös rakennusvaiheessa olemaan vahvasti mukana projektissa ohjaamassa tuotantoa työmaalla. Sisävalmistusvaiheen tahtisuunnitelmat eivät olleet vierailun aikana lopullisia. Tärkeää tahtisuunnittelussa on ymmärtää tahtituotantoa kokonaisuutena (H9). Keskittyminen saattaa helposti syventyä pienien asioiden muuttamiseen ja suunnitteluun, jolloin ymmärrys prosessin kokonaisuudesta saattaa kokonaan unohtua. Ymmärryksen puuttuessa voi tahtisuunnitelmasta tulla liian monimutkainen. Tahtisuunnitelman avulla pystytään osoittamaan yksinkertaisesti työntekijöille, miltä tuotantoprosessi näyttää kokonaisuudessaan (H10).

Kohteessa on tahtisuunnittelun apuna käytetty imuohjausta ja sillä on sekä yhteensovitettu esimerkiksi LVIS ja väliseinien työt. Imuohjaussuunnitelmiin ei ollut merkitty ajankohtia sen tarkemmin vaan kyse oli pelkästään työjärjestyksen määrittämisestä. Imuohjaussuunnittelussa nähdään kuitenkin haasteita. Esimerkiksi yksi tahtisuunnittelussa mukana ollut urakoitsija lopetti projektissa kesken kaiken (H7). Ongelmana on se, että seuraava urakoitsija joutuu tekemään aiemman urakoitsijan lupausten mukaisesti. Työta- voista ja kokonaisuuksista voi syntyä näkemyseroja entisen ja nykyisen urakoitsijan kohdalla ja näin ollen vaikuttaa uuden urakoitsijan sitoutumiseen yhteiseen aikatauluun.

5.3.1 Tahtiaika ja -alue

Kohde 2

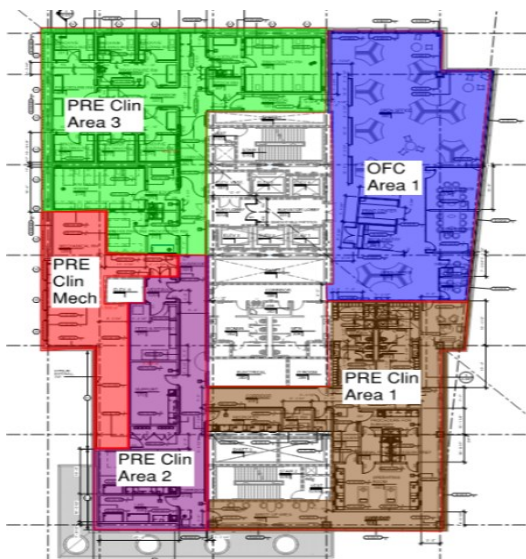
Kohteessa 2 sisävalmistusvaiheelle sovittiin viiden päivän tahti. Viiden päivän tahti sopii hyvin kalenteriviikolle (H4 ja H12) eikä aiheuta työnohjauksen kannalta liian tiukkaa tahtia (H4). Viikon tahtia perustellaan sillä, että työn tasaisuuteen tarvitaan puskuria. Tahtiajan sopivuus varmistettiin yhdessä tilaajan kanssa ja tarkistettiin, että työt on mahdollista saada valmiiksi sovitussa aikataulussa. Tahtituotannon oltua uusi prosessi päätettiin, että on helpompi toteuttaa prosessi viiden päivän tahdilla. Yhtenä merkittävänä syynä tahtiajan valinnalle oli esivalmistettujen taloteknisten elementtien optimaalisuus viiden päivän asennusaikaan (H4). Hänen mielestään näinkin isoihin tahtialueisiin ei oltaisi päästy ilman esivalmistettuja tuotteita. Esivalmistettujen tuotteiden käyttöä pitäisi lisätä tahtisuunnittelun osalta (H12).

Viiden päivän tahti oli jaettu urakoitsijoiden työnohjausta varten taulukon 6 osoittamalla tavalla (H5). Taulukon 6 mukaisesti pystyi maanantaina tavaroiden ja materiaalien paikoilleen viemisen lisäksi tehdä myös tarvittavia korjauksia tahtialueella. Mikäli korjauksia ei löydy ja ollaan aikataulussa, voidaan tulevien viikkojen töitä suunnitella etukäteen ja ennakoida mahdollisia ongelmakohtia. Työmaalla ei voitu varastoida tavaroita, vaan urakoitsijat säilyttivät materiaaleja omissa varastoissa, joista tuodaan viikoittain työmaalle ainoastaan asennukseen käytettävät materiaalit. Maanantaisin materiaalit toimitettiin välivarastosta työmaalle.

Taulukko 6. Tahdin päiväjäko kohteessa 2.

Maanantai	Tarvittavat materiaalit tuodaan työmaalle
Tiistai	Tavarat nostetaan oikeille alueille
Keskiviikko	Asennus
Torstai	Asennus jatkuu ja iltapäivällä alueen tarkastus
Perjantai	Mahdolliset tarkastuksen jälkeiset korjaukset

Kohteen 2 tutkimus- ja toimistotilojen tahtialueet on jaettu kuvan 8 mukaisesti. Rakennuksen toisessa osassa on laboratoriotila sekä lisää toimistotiloja. Tahtialueet eivät ole välttämättä samankokoisia. Tahtialueet on jaettu noin 100 – 750 neliömetrin (1000-8000 square feet) kokoisiin alueisiin. Alkuperäiseen aluejakoon jouduttiin tekemään muutoksia suunnitelmamuutosten takia. Tahtialueet ovat jaettu urakoitsijoiden kanssa yhteistoiminnallisesti tehtyjen tahtisuunnitelmien mukaisesti. Alueiden suunnittelussa hyödynnettiin urakoitsijoiden antamia tietoja. Tiedot sisälsivät tarkempaa infoa siitä, minkä kokoisia alueita urakoitsijat pystyvät asentamaan sovitussa tahdissa. Aluejako tehtiin pullonkaulaurakoitsijan mukaan, koska tahtialueen määrittää urakoitsija, joka saa vähiten tai hitaimmin sovitussa tahdissa suoritettua. Erityisen hyödyllisenä tekijänä pidettiin tahtiaikataulussa ja -alueissa sitä, että pystytään osoittamaan selvästi muille urakoitsijoille alueen olevan varattuna juuri heille tiettynä ajankohtana (H6).



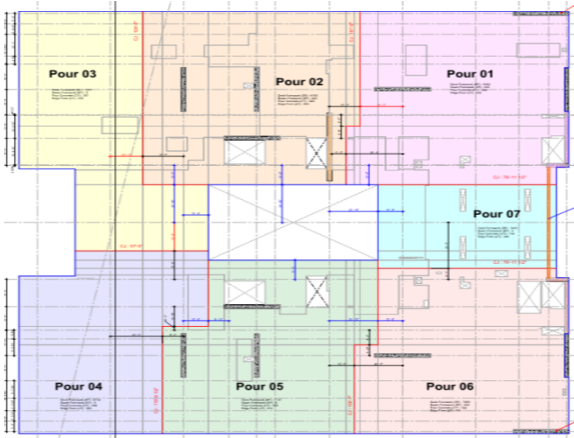
Kuva 8. Kohteen yhden puolen tahtialueen jako

Toteutuksen osalta osa urakoitsijoista suorittivat työtehtävänsä osittain tahdin ulkopuolella, sillä muilla urakoitsijoilla ei ollut kyseisissä tiloissa juurikaan suoritettavia työtehtäviä. Talotekniset urakoitsijat pystyivät yhdessä sopimaan keskenään tarkemmista toimintatavoista sekä -ohjeista. Myös kaikki tekniset tilat tahdistettiin, mutta taloteknisille asennuksille varattiin pidempi aika (muutama viikko) ja välillä niitä asensi vain yksi urakoitsija. Esimerkkinä haastateltava mainitsikin sähkötilat, joissa sähköasentajille varattiin aikaa yksi kuukausi suorittaa työtehtävänsä, kun taas putkiurakoitsijalle annettiin työtehtävien suorittamiseksi aikaa yhden tahdin verran. Ei olisi ollut oikeudenmukaista pyytää kumpaakin urakoitsijaa tekemään työnsä samassa ajassa. (H6)

Kohde 3

Kohteessa 3 runkovaiheen osalta hyödynnettiin viiden ja neljän päivän tahdin yhdistelmää, koska pelkästään viiden päivän tahdilla ei oltaisi päästy aikataulullisesti tavoitteeseen. Alussa runkovaiheen kesto laskettiin viiden päivän tahdilla ja sen jälkeen neljän päivän tahdilla. Lopputuloksena syntyi tehokkain ja kestoltaan lyhyin aikataulu yhdistelmätahdilla. Yhdistelmätahdilla liikkeellepanoajan ja tahdin yhteenlaskettu kesto on yhteensä 195 päivää, kun taas viiden päivän tahdilla kesto olisi ollut yhteensä 250 päivää. Neljän päivän tahdilla valmistuminen olisi kestänyt kuukauden pidempään, kuin yhdistelmämallilla. Hankkeessa kokeiltiin rungon osalta yhteensä 6-7 tahtiyhdistelmää (H8).

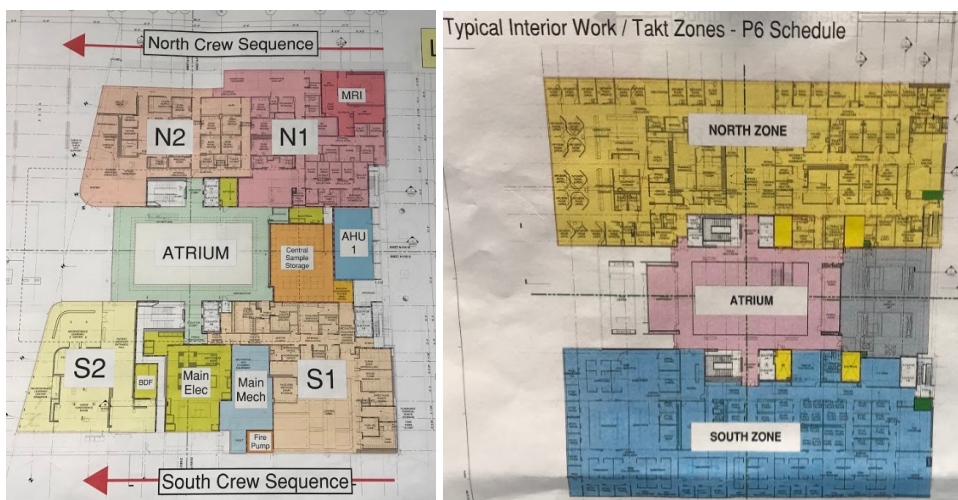
Tahtialueet on suunniteltu myös kohteessa 3 urakoitsijoiden kanssa yhteistoiminnallisesti. Aluejaon kannalta oli tärkeää selvittää, kuinka paljon betonia pystytään tahdissa valamaan sekä mikä oli rakennettavuuden kannalta toimivin ratkaisu. Runkovaiheessa tahtialueen määritti kriittisin työtehtävä eli betonivalut (H8). Tärkeää on myös muistaa, että tahdin määrittäjä on hitain tekijä (H9). Ensimmäisessä kerroksessa on 5 valualuetta ja ylemmässä kerroksessa on jo yhteensä 7 valualuetta. Kuva 9 auttaa havainnollistamaan toisen kerroksen tahtialuejakoa. Runkovaihe voidaan ajatella jo perinteisellä tavalla olevan tahdistettua työtä, sillä työtehtävien on luonnollisesti suoritettava tietyssä järjestyksessä alue kerrallaan. Näin ollen työtehtävät pakottavat suunnittelemaan työvaiheet tahdistettuna.



Kuva 9. Toisen kerroksen tahtialueet valujen mukaan jaettu

Kohteen 3 sisävalmistusvaiheen tahdiksi on myös valittu viisi päivää. Tahtialuejako on pääsääntöisesti tehty aluejaoilla pohjoinen ja etelä, jonka välissä on aulatila. Aulatila on omana tahtialueenaan, sillä tilassa tehtävät työt eivät toistu muissa tahtialueissa. Tekniset tilat ja magneettikuvaustila on jaettu omiin tahtialueisiin, koska tiloissa tehtävät työt poikkeavat muiden tilojen työtehtävistä. Nämä tilat vaativat enemmän aikaa sähkö- ja lvi-urakoitsijalta sekä magneettikuvaustila vaatii erikoisurakoitsijoita.

Kohteen 3 ensimmäisessä kerroksessa on jaettu LVIS ja seinien runkotyöt tahtialuejaon mukaan neljään osaan (kuva 10, vasen): eteläosat S1 ja S2 sekä pohjoisosat N1 ja N2. Etelä- ja pohjoisosalle on merkittynä omat työryhmät sekä työryhmän työjärjestykset. Lisäksi tahtiaikataulussa on tarkemmin määritetty jokaisen työryhmän aluejako. Ylemmissä kerroksissa sisävalmistuksen aluejaossa on ainoastaan etelä- ja pohjoispuoli sekä aula (kuva 10, oikea). Jokaisella alueella on kuitenkin tahtiaikataulun mukaan samat työvaiheet. Kuvan 10 (oikealla) tahtialuejako on tarkoitettu ylemmille kerroksille, joissa on pääsääntöisesti merkittynä toimisto- ja tutkimustiloja, jotka ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia tiloja. Pääsääntöisesti ylemmissä kerroksissa alueet on jaettu pohjois- sekä eteläosiin, mutta 6 kerros on pohjaltaan erilainen, joten se on jaettu itä- ja länsiosaan.



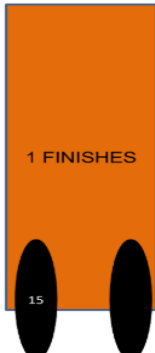
Kuva 10. Sisävalmistusvaiheen tahtialueiden jako 1. kerroksessa (vasen) ja ylemmissä kerroksissa (oikea).

5.3.2 Tahtiaikataulu

Kohde 2

Kohteen 2 sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu (liite 2) eroaa kohteen 1 aikataulusta. Kohdeessa 2 käytettiin neljää tahtijunaa, kullekin junalle oli oma työnjohtaja. Tärkeimpänä tahtiaikatauluttamiseen vaikuttavana tekijänä pidettiin ymmärrystä siitä, miten työvaiheita tulisi sijoitella. Aluksi tahtiaikataulun tahtialueita sekä -ajankohtien järjestystä päivitettiin usein. Myöhemmin tahtiaikataulua päivitettiin ainoastaan isoimpien muutosten osalta.

Kohteen 2 aikatauluun on merkitty tehtäväryhmiä eli vaunuja, kuten viimeistelyryhmä (Finishes). Jokainen yksittäinen tahti on vaunu, joka pitää sisällään erilaisia työtehtäviä (kuva 11). Vaunu pitää sisällään eri alueilla eri urakoitsijoiden työtehtävät. Tahtiaikataulussa ei mennä tehtävätasolle, mutta vaunuihin merkitään tarkat työtehtävät, jotka tulee suorittaa yhden tahdin aikana tietyllä alueella. Vaunujen käyttö jättää joustovaraa myös mahdollisille pienille muutoksille. Työtehtävien järjestystä voidaan vaihtaa myös muuttamatta tahtiaikataulua, joka vähentää itse aikataulun päivittämisen tarvetta. Aikatauluttamisen onnistumisen kannalta tärkeänä lähtökohtana pidettiin työntekijälähtöistä lähestymistapaa. Tahtiaikataulun tarkoitus ei ole siis tehdä työnteosta liian raskasta, vaan sen on tarkoitus tehdä aikataulusta suunnitelmallinen ja helppolukuinen. Urakoitsijan edustaja pitikin työtehtävien tarkkaa suunnittelua erittäin positiivisen asiana (H6).



Vivarium	Prime and First Coat, and Spray Door Frames (R, F) Install cable tray and associated hangers Build MRI Shield (wk 2/2)
Offices, Bathrooms, Game&Dining, Lobby, Amenities	Prime and First Coat (R, F) Blackout painting above ceiling (R, F) Pull Wire - All Plenum rated cable (M, T, W) (Amenities Area 1) - Prep for River Rock (Amenities Area 1) - Landscape Wall complete (Amenities Area 1) - Coring for Handrails at the Ramp Install cable tray and associated hangers
Labs	Prime and First Coat (R, F) Install cable tray and associated hangers
Kitchen & Servary	Install cable tray and associated hangers
Auditorium	Install Ceiling support system Install cable tray and associated hangers
Service Yard	XXXXXXX XXXXXXX XXXXXXX

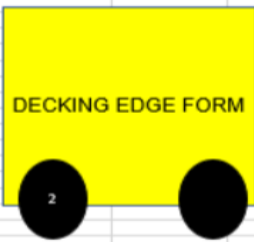
Kuva 11. Tahtivaunu, joka sisältää eri tiloissa yhden tahdin aikana tehtävät työt.

Tahtiaikataulussa kerrokset etenevät pääsääntöisesti yhteneväsillä työvaiheilla. Yksittäisten alueiden osalta vaunun sisällä voi esiintyä eroavaisuuksia. Eroavaisuudet on merkitty kuvan 11 mukaisesti vaunuihin. Ainoat merkittävimmät eroavaisuudet esiintyvät teknisten tilojen sekä 1. kerroksen käytävien ja aulatilojen osalta. Näiden tilojen osalta on kuitenkin tehty tarkemmat suunnitelmat. Käytävien tahtiaikataulu on suunniteltu päivittäisellä tasolla.

Tahtiaikataulujen visualisointiin on syytä panostaa, sillä työmaalla arvostettiin visuaalisesti selkeää ja yksinkertaista tahtiaikataulua. Tahtiaikatauluja pidettiin työmaataululla kaikkien osapuolten nähtävillä. Tämä taas helpotti työntekijöitä ymmärtämään, missä pitää olla milloinkin. Tämä helpotti myös työnjohtajan työtä, sillä työntekijät eivät olleet jatkuvasti kyselemässä, missä heidän pitäisi milläkin hetkellä olla. Tahtiaikataulua pidettiin myös toimivana hankintavaiheessa. (H6)

Kohde 3

Kohteessa 3 tahtiaikataulun luonti alkaa yleisaikataulun tekemisellä. Yleisaikataulu havainnollistetaan vinoviiva-aikataululla, johon on tärkeää merkitä ylös projektin välitavoitteet. Seuraavaksi suunnitelman osalta tehdään tarkennuksia ja luodaan työvaiheaikataulu eli tahtiaikataulu. Tahtiaikataulu käsitellään yksi vaihe kerrallaan. Viimeiseksi tehdään tarkennuksia työvaiheaikatauluun eli vaunulistaus (esitetty kuvassa 12). (H8) Näiden eri aikataulutason yhteensovitus tehdään manuaalisesti. Tahtiaikataulun tekemiseen on käytettävä aikaa, sillä tahtituotannon kriittisimpiä tekijöitä on luotettavan aikataulun luonti (H9). Useampien aikataulujen hyödyntämisessä on tärkeää muistaa, että aikatauluissa on samat päivämäärät tavoitteille sekä työvaiheiden aloitukselle ja lopetukselle (H8 ja H9).

	Verify/clarify	location and building control
		Approved shops
		Confirmed by Sandis
		Where and how to load decks with rebar (Review loading with construction team)
		control drawing
	Work	Install decking
		edge form
		temp handrail
		control joints
		MEP openings layout and install
Safety/Quality		Temp power boxes/lights install (REG discussion)
		Layout of depression shear walls and stud rails
		Temp water install
NOTES		Hand rails and verify access and sign off for other subs to access the floor
		Do not go on the floor until DPR offers access
		Verify temp stand pipe

Kuva 12. Vaunujako ja lisätiedot vaunujen töistä kohteessa 3.

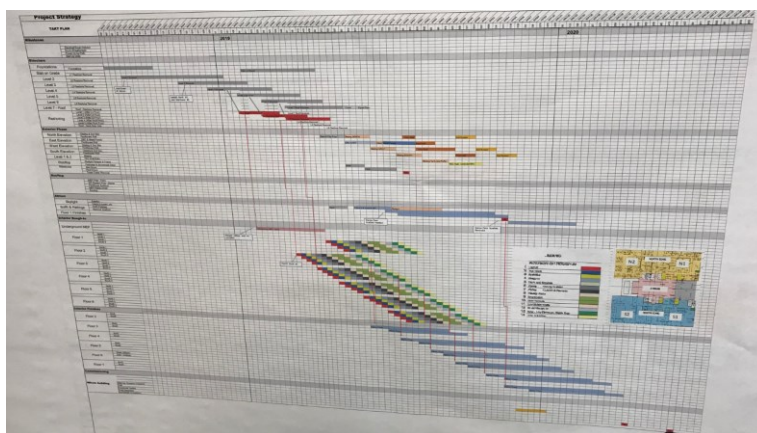
Kohteen 3 runkovaiheen tahtiaikataulu on jaettu kahdeksaan työvaiheeseen. Runkovaiheelle luonnolliseen tapaan, tahtiaikataulun osalta on käytössä ainoastaan yksi juna. Projektin aikataulutukseen käytettäviä pohjia ovat yleisaikataulu, tahtiaikataulu sekä BIM 360 Plan (pitää sisällään tapahtumat päivittäisellä tasolla). BIM 360 Plan on ohjelmisto, jolla voidaan tehdä tuotantosuunnitelmia ja siinä käytetään paljon hyödyksi Lean rakentamisen periaatteita. Tahtiaikataulua päivitetään alkuvaiheessa viikoittaisella tasolla urakoitsijapalaverin tietojen mukaan (H8). Tahtiaikataulusta tuli kuitenkin tiukempi kuin alun perin oli suunniteltu. Runkovaiheen tahtiaikataulutukseen kehittämiseen oli käytetty paljon resursseja sekä urakoitsijoiden aikaa.

Kohteessa 3 tahtivaunujen sisältämät työtehtävät määriteltiin yhdessä urakoitsijoiden kanssa. Tietoja kerättiin urakoitsijoilta, kuten mitkä työtehtävät pitää suorittaa ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Kuvassa 12 nähdään kohteen 3 vaunujen työtehtäväjaot. Tehtäviä ei kuitenkaan ole jaettu runkovaiheessa eri alueilla, sillä työtehtävät ovat joka alueella toistuvia eli hyvin samanlaisia. Tahtivaunun tietokenttä sisältää varmista/tarkenna (Verify/Clarify), työtehtävä (Work) ja turvallisuus/laatu (Safety/Quality). Varmistus- ja tarkennusosiossa huomioidaan työn ennakointi varmistamalla suunnitelmien toteutuskelpoisuus. Lisäksi tulee huomioida, että asennusjärjestyksen, -tavan ja toimintamallin tulee olla selviä ennen työn aloittamista. Työtehtäväosiossa on tarkemmin määriteltä, mitä kaikkia työtehtäviä kyseinen vaunu pitää sisällään sekä mitkä tehtävät täytyy suorittaa yhdessä tahdissa. Turvallisuus- ja laatuosiossa varmistetaan ohjeistuksella työn laatu sekä ylläpidetään turvallista työympäristöä annetuilla tiedoilla.

Kohteen 3 sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu oli vierailun aikana pääosin määritetty sisäpuolen LVIS runkotöiden sekä seinien runkotöiden (Rough in) osalta. Viimeistelytöille ei oltu vielä tässä vaiheessa määritetty tarkempaa tahtiaikataulusuunnitelmaa, mutta jokaiselle kerrokselle oli kuitenkin jo varattu tietyn verran työviikkoja työtehtävien suorittamista varten. Sisävalmistusvaiheen osalta oli suunniteltu käytettäväksi vain yhtä junaa.

Yhden junan käytöstä ei kuitenkaan oltu vielä tehty virallista ja lopullista päätöstä. Taavoitteena oli myös yhteensovittaa tahtisuunnitelma logistiikan kanssa.

Yleisaikataulua hyödynnettiin työvaiheiden tunnistamisen sekä tahtisuunnittelemisen osalta. Runkovaiheen vaunuista poiketen, sisävalmistusvaiheen vaunuihin on otsikoitu primäärietyöt (Priority Work) sekä sekundäärietyöt (Secondary Work). Primäärietyöt luovat perustan tahtiajalle sekä määrittävät, kuinka kauan työryhmät voivat viipyä tietyllä tahtialueella. Sen jälkeen aloitetaan sekundaarietyöt. Sekundäärietyöt ovat työtehtäviä, jotka eivät vaikuta merkittävästi muihin työtehtäviin ja lisäävät tahtiin joustavuutta (H7). Runkovaiheen sekä sisävalmistusvaiheen vaunuihin on merkittynä turvallisuus- ja laatu tiedot. Lisäksi tahtiaikatauluun on erikseen merkitty aulassa suoritettavat työtehtävät. Kuvassa 13 esitetään kohteen kokonaistahtiaikataulu, johon on merkitty kohteen välitavoitteet, runkovaihe, julkisivuun liittyvät työtehtävät, vesikatto, aula, talotekniset ja seinien runkotyöt, sisäpuoliset viimeistelyt sekä viimeisenä käyttöönotto.



Kuva 13. Kohteen 3 tahtiaikataulun luonnos

Varamestat

Varamestojen (Backlog Work) aikatauluttaminen oli kohteessa 2 tahtiaikataulun osalta jätetty kokonaan pois. Varamestojen työtehtäviä ei siis ole merkittynä tahtiaikatauluun, vaan työt ovat merkittynä yleisaikatauluun. Kohteessa 3 varamestojen aikatauluttamista ei ole tehty erikseen tahtia varten, vaan tarvittavat tiedot löytyvät yleisaikataulusta. Varamestojen suunnittelu on kuitenkin tärkeää sillä, urakoitsijoiden työvoimatarpeen vaihtelua pidettiin ongelmana. Välillä työtehtävien suorittamiseen tarvittiin 80 työntekijää ja välillä tarvittiin vain 60 työntekijää (H6). Suuremmissa rakennuksissa voidaan tehdä oma tahti pystysuuntaisille varamestoille, kuten portaikoille sekä kuiluille (H3). Projekti luovutetaan tilaajalle hitaimman alueen valmistumisen mukaan. Näin ollen kaikki alueet voidaan tahdittaa hitaimman alueen mukaan, joka voi vähentää varamestojen tarvetta (H3).

5.3.3 Puskurit

Tarkoin säännellyissä projekteissa, joissa tehdään paljon tarkastuksia, tahtiaikatauluun tulisi sisällyttää enemmän puskureita. Tarkoin säännellyissä projekteissa saatetaan käyttää enemmän resursseja tarkastuksiin ja mahdollisia laatu poikkeamia tarkistetaan tehokkaammin. Nämä tarkastukset sekä korjaukset voivat viedä aikaa, joten puskureitakin tulisi hyödyntää enemmän. Puskureiden avulla projektin aikataulu vastaisi enemmän todellisuutta. Puskureiden tulisi olla kokonaisuudessaan enemmän takapainoisia eli puskureiden sijoitukset painottuisivat projektin loppupuolelle. Pienempiä puskureita voidaan sijoittaa tarvittavien työvaiheiden mukaisesti. (H3) Tahti toimii myös itsessään puskurina,

sillä työtehtäviä ei ole suunniteltu tehtäväksi täysin 100 prosentin teholla. Vaikka työtehtävät suunnitellaan tarkasti, ne suunnitellaan myös joustavasti.

Kohde 2

Puskureita ei suunniteltu pääosin aikatauluun etukäteen kohteessa 2, joka oli (H4) mielestä virhe. Hänen mielestään puskuriksi oltaisiin voitu laittaa viikon tauko ennen maalauksen aloittamista. Puskurit voisi sijoittaa isojen työvaiheiden väliin, jolloin projektissa voidaan varautua työn vaihtelevuuteen sekä yllättäviin tilanteisiin (H3). Näin ei kuitenkaan olla tehty. Tämä johtuu siitä, ettei Yhdysvalloissa olla tarpeeksi kvantifioituneita (H3). Kvantifiointi voidaan tässä tilanteessa ymmärtää määrällisenä tahtiajan laskemisena. Muita hyviä puskurin sijoituskohtia ovat taloteknisten runkolinjojen sekä seinien rungon asennuksen väliin, johon lisättäisiin viikon tai kahden viikon puskurin (H3). Seinien levytyksen, maalauksen tai nauhoituksen väliin kannattaisi hänen mukaan varata jopa kolmen viikon puskuri.

Kohteessa 2 puskureina käytettiin iltoja ja viikonloppuja, myös juhlapyhät ovat puskureina. Esimerkiksi kohteessa koko itsenäisyyspäivän viikko on määritetty puskuriksi. Puskurina käytettiin myös porrastettua töiden aloitusta eri kerroksissa ja junissa, jottei samaa työvaihetta suoriteta samanaikaisesti jossain toisessa kerroksessa. Porrastettu aloitus toimii myös oppimistilanteena, jolloin erilaiset ongelmat ja haasteet voidaan havaita jo ensimmäisen tahdin kohdalla. Tällöin voidaan vielä puuttua ongelmakohtiin sekä tehostaa työvaiheita seuraavissa kerroksissa. Isompien suunnitelmamuutosten osalta tahtiaikatauluun lisättiin viikon puskuri eikä junan pysäytystä käytetty puskurina missään vaiheessa projektia.

Kohde 3

Kohteessa 3 runkovaiheen työvaiheiden välissä ei ole käytetty puskuria. Myöskään viikonloput eivät sijoitu tasaisesti neljän päivän tahdissa, joka tarkoittaa sitä, että seuraava työvaihe alkaa aina heti edellisen työvaiheen päätyttyä. Kuitenkin viikonloput ja juhlapyhät ovat puskureita. Todennäköisesti jossain vaiheessa projektia tulee vastaan tilanteita, joissa vaunujen työtehtäviä ei pystytä suorittamaan suunnitellussa rytmissä. Kyseisten tilanteiden hallitsemiseksi sekä rytmin ylläpitämiseksi on varmistettava, että projektissa on tarpeeksi joustavuutta (H7). Joustavuutta voidaan lisätä esimerkiksi puskureilla, joiden aikana on mahdollista ottaa aikataulua kiinni. Joustavuus auttaa tahtituotannon kokonaisuuden toiminnassa ja toimii yhtenä puskurina (H7). Sisävalmistusvaiheen aikataulua ei ole tarkoitus suunnitella liian tiukaksi, sillä toimintoihin pitää jättää myös luonnollisia puskureita. Puskurit ovat tärkeänä osana onnistunutta tahtiaikataulua, sillä on erittäin epätodennäköistä päästä täydelliseen ja virheettömään työsuunnitelmaan (H7).

5.3.4 Tahtisuunnittelun analysointi

Kohteet 2 ja 3 ovat hyvin samanlaisia terveystalalle tulevia rakennuksia, joissa on omat erityispiirteensä esimerkiksi talotekniikan määrässä. Tahtisuunnittelu oli tehty Kalifornian mallin perusteella kummassakin kohteessa 2 ja 3. Tukea kyseisen menetelmän käytölle toi myös asiantuntijahaastattelu. Kirjallisuudessa esitettiin Kalifornian malli tahtisuunnittelumenetelmänä ja tulokset tukevat kyseistä valintaa. Tulosten perusteella toteutusmalliin valitaan Kalifornian malli eli yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu. Tahtisuunnittelussa tärkeäksi koettiin juuri yhteistoiminnallisuus, johon otetaan mukaan urakoitsi-

joiden edustajat ja suunnittelun aikana tunnistetaan pullonkaulat. Kokonaisuudessaan tahtisuunnittelu on tehty kohteissa 2 ja 3 hyvin samanlaisesti. Kuitenkin kohteen 3 etuna on se, että on voitu pyytää apuja ja kysyä kokemuksista miten tiettyjen asioiden kanssa tulisi toimia. Tahtisuunnittelu oli osalle uutta, mutta kuitenkin prosessina yritykselle se ei ollut enää uusi kohteessa 3. Kohteessa 3 oli mahdollisuus myös tutkia ja selvittää runkovaiheen tahtisuunnittelua, kuitenkin kohteen 2 runkovaiheen tahtisuunnittelusta ei ole tietoja. Näin ollen ei ole mahdollista verrata näiden kahden kohteen runkovaiheen tahtisuunnittelua.

Kohteessa 2 ja 3 oli tahtisuunnittelu aloitettu hyvissä ajoin kuusi kuukautta ennen rakennustöiden aloittamista. Tätä pidettiin kummassakin kohteessa positiivisena ja harvinaisena. Kuitenkin (H3) näkee, että tahtisuunnittelun pitäisi onnistua lyhyemmässä ajassa kuten kuudessa viikossa, sillä kuusi kuukautta on pitkä aika ja vie paljon resursseja. Kuitenkin (H9) mielestä on tärkeää varata vähintään muutama kuukausi aikaa tahtisuunnittelun luontiin, sillä kuukausi ei riitä tarpeeksi toimivan ja luotettavan suunnitelman muodostamiseen. Tahtisuunnittelu on uusi prosessi, joten on ymmärrettävää, että alussa menee enemmän aikaa. On myös jatkuvan kehityksen kannalta tärkeää tähdätä lyhyempiin ja tehokkaampiin tahtisuunnitteluaikeisiin.

Kohteessa 2 ja 3 on käytössä sisävalmistusvaiheelle viiden päivän tahti, joka oli ennalta valittu. Viiden päivän tahtia tukee myös asiantuntijahaastattelut. Kohteessa 3 oli runkovaiheelle määritetty yhdistelmätahtiaika, jossa ensimmäisessä kerroksessa oli viiden päivän tahti ja muissa neljän päivän tahti. Voidaan siis olettaa, että ensimmäistä kerrosta käytettiin harjoittelukohteena, jossa selvitettiin ongelmat ja kehitettiin ennakoivia toimintatapoja. Ongelmanratkaisulle on hyvä jättää alussa aikaa, sillä ne saattavat toistua myös ylemmissä kerroksissa. Kohteessa 1 oli käytössä kahden päivän tahti, joka eroaa muista tutkimuksen kohteista. Lisäksi tahtiaika määritettiin laskennallisesti. Asiantuntijahaastattelussa oli erimielisyyksiä tahtiajan määrittämisestä laskennallisesti. Yhtenä näkökulmana oli, ettei tahti ole matemaattinen ongelma. Toisesta näkökulmasta laskennallisuus tehostaa tahtiaikaa entisestään. Kaikki urakoitsijat eivät olleet tyytyväisiä kohteessa 2 tahtiajan määrittämään työtahtiin. Haasteellista on luoda kaikkia miellyttävä työtahti, varsinkin kun on tärkeää tiedostaa tuotannon pullonkaula, jonka perusteella tietty taso luodaan.

Sisävalmistusvaiheen tahtialuejako on tehty kohteessa 2 kokonaisuudessaan ja kohteessa 3 ensimmäisen kerroksen osalta samalla tavalla. Näiden osalta tahtialuejako ei ole tehty geometrisesti vaan työtiheyden perusteella ja samantapaisten tilojen yhdistämisellä. Työtehtäviltä täysin erilaiset alueet, kuten aulatila, ovat myös eroteltu omaksi alueeksi. Kohteessa 3 tahtialuejako on tehty pullonkaulaurakoitsijan mukaan. Haasteita aiheutti kohteen 3 ylempien kerrosten tahtialuejaon vertailu, sillä sisävalmistusvaiheen suunnittelu oli vielä kesken. Täten ei ole tietoa, jääkö kohteen 3 ylempien kerrosten aluejako enemmän geometrisesti määritetyksi. Kalifornian mallin mukaan kohteissa 2 ja 3 tahtialuejako on tehty yhteistoiminnallisesti. Kohteessa 1 tahtialuejako on määritetty pääosin geometrian perusteella.

Kohteiden 2 ja 3 sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulut ovat pääosin hyvin samanlaisia. Kohteessa 3 on kuitenkin selvemmin esitetty alustavassa aikataulussa projektin eri rakennusvaiheet. Tahtiaikataulua päivitettiin kohteessa 2 vain isojen muutosten osalta, mutta kohteessa 3 alkuvaiheessa päivitetään lähes viikoittain. Yksi mielipide asiasta oli, että tahtiaikataulua ei tulisi muuttaa enää sen jälkeen, kun tahtisuunnitelma on valmistunut. (H3) Tahtiaikataulun päivittäminen olikin epäselvää kohteessa 1. Urakoitsijan näkökul-

masta perinteiseen jana-aikatauluun verrattuna tahtiaikataulu on paljon käytännönläheisempi ja selkeämpi (H6 ja H10). Tahtiaikataulun voi esittää selkeästi yhdellä sivulla, kun taas perinteinen jana-aikataulu voi olla monia kymmeniä sivuja pitkä (H6). Yhdysvalloissa yleisaikataulut voivat olla sivumäärältään hyvin pitkiä, kuitenkin Suomessa ero tahtiaikataulun ja yleisaikataulun sivumäärässä on hyvin pieni. Tahtiaikataulu on tärkeä visuaalinen työkalu, joka tulee tuoda esille kaikkien nähtäväksi kuten havaittiin kohteista 2 ja 3 sekä (H12) mukaan.

Sisävalmistusvaiheen osalta kohteessa 2 oli käytössä neljä junaa ja kohteessa 3 oli suunniteltu yksi juna. Kohteessa 1 taas oli pääjuna tahtisuunnitelman mukaisille töille ja varamestoja varten oma juna. Junien käytöstä oltiin montaa mieltä. Haastavana pidettiin usean junan käytössä sitä, että on pienempi todennäköisyys suorittaa työtehtävät ajallaan, jos eri kerroksissa tehdään töitä yhtäaikaaisesti (H3). On paljon haastavampi 16 viikossa saada neljä junaa valmiiksi kuin yksi juna (H3). Useamman junan käyttö voisi toimia tapauksissa, joissa tilaaja vaatii projektin valmistumista nopealla aikataululla eikä rakennuttajalla ole muita vaihtoehtoja tai kilpailutilanteessa toista urakoitsijaa vastaan. Ei kuitenkaan suositella enempää kuin kahta junaa (H3). Useamman junan käytössä on haasteena myös se, ettei aikaa jää tahdin oppimiselle. Kuitenkin useamman junan käytön pidettiin lisäävän projektille joustavuutta työtehtäviin (H7). Esimerkiksi yhdellä junalla, myöhästymiset kasautuvat hankkeen loppuosalle. Lisäksi useamman junan käyttöä pidettiin toimivana, koska sillä saadaan tasattua työntekijäresurssit (H6). Asiantuntijahaastatteluissa painotettiin junien osalta päätöstä, halutaanko tasaisuutta vai nopeutta. Useammalla junalla päästään nopeampaa, mutta yhdellä junalla on työn eteneminen tasaisempaa.

Tahtivaunujen sisältämät tiedot eroavat toisistaan kohteissa 2 ja 3. Kohteen 2 tahtivaunut ovat määriteltäviä sisävalmistusvaiheelle ja kohteen 3 runkovaiheelle sekä sisävalmistusvaiheelle. Kohteen 2 vaunuissa on merkitty viimeistelyvaiheen työtehtävät eri tahtialueilla eri urakoitsijoilla, kun taas kohteessa 3 viimeistelyvaunuja ei ole vielä määritetty. Kohteessa 3 on tahtivaunuihin lisätty myös enemmän tietoa, kuten laatu ja turvallisuus asioita. Kohteessa 3 on myös jaettu tahtivaunujen työt primääreihin ja sekundäärisiin töihin. Kohteessa 1 ei tahtivaunuja ole käytetty.

Varamestojen määrittäminen kohteissa 2 ja 3 on jätetty tahdin ulkopuolelle ja esitetty varamestojen työt vain yleisaikataulussa. Asiantuntijahaastatteluiden mukaan nähdään tämä pääosin järkevänä tapana, mutta päätös on kuitenkin projektiriippuvainen. Kohteessa 1 varamestojen suunnitteleminen oli osa tahtisuunnitelmaa ja se nähtiin haasteellisena. Varamestojen suunnitteleminen herätti paljon eriäviä mielipiteitä. Varamestoja ei tulisi suunnitella erikseen, vaan kaikki työtehtävät suunnitellaan osaksi tahtia (H3). Varamestojen suunnittelua pidettiin hyvin tärkeänä (H6). Lisäksi yhtenä mielipiteenä pidettiin, ettei varamestojen aikatauluttaminen sovi tahtiaikatauluun (H7). Vaihtoehtoisiksi jäivät varamestan jättäminen tahdin ulkopuolelle tai sitten suunnitellaan esimerkiksi pystysuuntaiset työt omana junanaan, kuitenkin yhteistoiminnallisesti.

Sekä kohteessa 2 että 3 puskureina käytettiin viikonloppuja ja juhlapyyhiä. Kohteessa 2 on myös käytössä illat puskureina. Kohteen 1 puskurit eroavat jo tahtiajan takia. Kohteessa 1 oli puskurina illat, perjantait ja viikonloput. Puskureista oltiin montaa mieltä ja yksi ehdotus oli sijoittaa puskuri isompien työvaiheiden väliin. Kuitenkin yksi näkökulma on, että puskureita tulisi sijoittaa projektin keskivaiheelle tahdin rytmin ylläpitämisen vuoksi (H7).

5.4 Tahtiohjaus

Tahtituotanto toimi pääurakoitsijalla ja urakoitsijoilla hyvänä apuna ajantasaisen tilanteen havainnollistamisessa eli projektin aikana on koko ajan tiedossa, mikä työvaihe on meneillään minäkin viikkona. Yksittäiset toiminnotkin pitäisi tietää päivä tasolla, jolloin voidaan kehittää työtoimenpiteille standardi (H11). Työtoimenpiteiden standardoimisella on suuri merkitys jatkuvaan kehitykseen. Tahtituotanto johtaa entistä enemmän yhteistoinnalliseen työskentelyyn (H8).

Tahtituotannon onnistumiseen vaikuttaa myös muut osapuolet kuin pääurakoitsija ja urakoitsijat. Kohteissa 2 ja 3 tilaajan roolia pidettiin erittäin tärkeänä. Tilaaja on erityisen ratkaisevassa roolissa, jos pääurakoitsija ja urakoitsijat rakentavat tahtituotantoprosessilla ensimmäistä kertaa (H3). Lisäksi tilaajalla on tahtituotannon osalta merkittävä vaikutus työmaalla tapahtuviin muutoksiin. Projekteissa saatetaan tehdä aikataulullisesti myöhäisessä vaiheessa päätöksiä, mikäli tilaaja ei täysin ymmärrä tahtituotantoa (H3). Vaikutuksen merkittävyyteen vaikuttaa myös, kuinka paljon suunnitellaan ja rakennetaan samanaikaisesti. Tilaajasta voi tulla pullonkaula, mikäli he tekevät myöhäisiä päätöksiä (H3).

Kohde 2

Kohteessa 2 tuotannon tilannetta käytiin läpi viikoittain urakoitsijapalaverissa. Maanantaisin, keskiviikkoisin ja perjantaisin käytiin läpi tahtiohjauksen tilannekatsaus isommalla ryhmällä eli kaikkien urakoitsijoiden edustajien kanssa. Tähän keskustelupalaveriin käytettiin aikaa noin 1-1,5 tuntia. Keskustelujen aikana kaikki osapuolet saivat sekä tahdin että tehtävien kulusta paljon tärkeää tietoa ja isompia ongelmia pystyttiin ratkomaan jo heti yhteisen palaverin aikana. Näin ollen tieto tavoitti kaikki tärkeät osapuolet heti. Kaikki urakoitsijat olivat sitoutettu yhteisiin palavereihin sopimuksilla. Työnjohtajat kävivät puolestaan omien juniensa urakoitsijoiden työnjohtajien kanssa päivittäisellä tasolla läpi tilannetta ja mahdollisia ongelmakohtia päivittäisillä työmaakierroksilla.

Tahtituotantoa otettiin käyttöön kohteessa 2 hitaasti ja pienin askelin, jolloin kaikkien osallistaminen tahtituotantoon oli helpompaa sekä järjestelmällisempää (H5). Kohteen 2 vierailun aikana nousi usein esille, että virtauksen luomista tuotannossa pidetään hyvin tärkeänä asiana tahtituotannossa. Virtauksen avulla pystytään luomaan kaikille edellytykset sujuvaan sekä tasaiseen työskentelyyn ja tämän ansiosta taas työtehtävät etenevät halutussa tahdissa. Rakentamisvaiheen alussa tämä ei kuitenkaan täysin onnistunut eikä virtausta saatu toimimaan tasaisesti.

Tasaisuutta paransi kuitenkin esivalmistettujen tuotteiden käyttö esimerkiksi levyväliseissä sekä talotekniikassa. DPR oli tehnyt tilaajan kanssa sopimuksen, jonka mukaan yrityksen on korvattava yli 50 prosenttia töistä esivalmistetuilla tuotteilla eli elementtiratkaisulla. Lopulta päästiin kuitenkin noin 60 prosentin esivalmistusasteeseen. Esivalmistetut tuotteet otettiin jo hankkeen aikaisessa vaiheessa harkintaan. Taloteknisten tahtien ohjausta saatiin maksimoitua sillä, että esivalmistettujen putkielementtien asennuksissa käytettiin vain yhtä yritystä. Väliseiniä rungot valmistettiin 60 prosenttisesti esivalmistettuina.

On erittäin tärkeää tahtituotannon ja työn tasaisuuden onnistumisen kannalta suunnitella työt etukäteen sekä kommunikoida avoimesti työmaan rakennusvaiheen edetessä. Nämä

kaksi asiaa nousivat monesti esille keskusteltaessa projektin eri osapuolten kanssa. Haastateltava 3 kertoi kolmesta vaiheesta, jotka auttavat ennaltaehkäisemään ongelmatilanteita: havaitse – kommunikoi – suunnittele (Identify-Talk-Plan).

Kohteen 2 työmaakulttuuri oli monin tavoin hyvin samanlainen kuin Suomessa rakennustyömailla. Päivittäin kohdataan rakennusosalalle perinteisiä ongelmia sekä samankaltaista vastarintaa uusien prosessien ja prosessimuutosten osalta kuin kohteessa 1. Kommunikointi oli projektissa onnistunut kaikkien haastateltavien mielestä erittäin hyvin. Kommunikointi on onnistunut erityisesti siitä syystä, että se on ollut hyvin avointa. Big Room -käytäntö, jossa kaikki projektin osapuolet istuvat yhteisissä työmaatiloissa on edesauttanut avointa kommunikaatiota sekä luonut hyvää ryhmähenkeä. Tällä oli myös positiivinen vaikutus yhteisen päämäärän tavoittamisen osalta, sillä kaikki osapuolet saatiin tekemään töitä yhteisen tavoitteen eteen. Yhteisissä tiloissa työskentely suunnittelijoiden kanssa paransi merkittävästi myös yhteistyötä sekä kommunikaatiota urakoitsijoiden sekä suunnittelijoiden välillä. Tämä vähentää taas sähköpostien määrää ja kiireellisimmissä asioissa voidaan keskustella suoraan kasvotusten. Kohteen työnjohtajat kommunikoivat pääsääntöisesti mielellään kasvotusten (H5). Lisäksi hän totesi, että ensimmäinen askel kohti onnistunutta tahtituotantoa on pääurakoitsijan työnjohtajan ja urakoitsijoiden välinen hyvä ja toimiva yhteistyö, ymmärrys sekä yhdessä tekeminen.

Tahtituotanto on hyvä työkalu johtaa työmaata sekä ennakoida tulevia työvaiheita (H4). Pääurakoitsijan organisaatiota on jatkuvasti pidettävä ajan tasalla tahtiohjauksessa. Joka viikko aloitetaan tarkistamalla, missä mennään tahtiaikataulun osalta sekä mitä työvaiheita alkava viikko tuo tullessaan. Viikoittaisia työmaarutiineja kohteessa 2 esitettiin jo taulukossa 6, jossa viikkotarkastukset ja vastaanottokatselmuksot pidettiin joka torstaina. Tämänkaltaiset viikoittaiset rutiinit helpottavat urakoitsijoiden tietoisuutta viikoittaisista tapahtumista. Viikoittaiset alueluovutukset ovat erittäin tärkeä osa tahtiohjausta (H8). Jatkuvalla kommunikoinnilla sekä tiedon jakamisella ylläpidetään kokoaikaista sekä kokonaisvaltaista ymmärrystä, mikä on seuraava askel ja tiedostetaan, jos jokin työvaihe näyttää myöhästyvän. Urakoitsijapalaverit tukevat hyvin tahtiohjausta ja viikoittaisilla palaverilla saadaan ylläpidettyä ajantasaista tilannekuvaa tahdistusta (H4).

Kohteessa 2 tahtia ei simuloida etukäteen näyttämällä esimerkiksi mallista, kuinka työt tulisi edetä, vaan työn tarkempi suunnittelu oli urakoitsijoillaan itsellään. Eikä hankalampia työvaiheita harjoiteltu etukäteen. Kuitenkin esimerkiksi tahtialueiden perusteella näyttettiin, kuinka paljon projektissa menee aikaa varsinaiseen rakentamiseen. Tahtialueiden kokoa muuttamalla voidaan simuloida projektin kestoa.

Kohde 3

Kohteessa 3 ei oltu vielä vierailun aikana kehitetty kaikkia tahtiohjauksen toimintatapoja loppuun asti. Näin ollen tahtiohjauksen aineisto perustuu suurimmaksi osaksi suunniteltuun eikä toteutettuun tahtiohjaukseen. Kohteessa selvisi, että pääurakoitsijalla on olemassa tahtituotantoprosessimalli, jonka pohjalta lähdettiin rakentamaan projektille sopivaa prosessia. Jokainen toteuttaa tahtituotantoa hieman eri tavalla, joten jokainen projekti luo itselleen sopivan tahtiprosessin (H7). Projektioorganisaatio kehittää siis tahtituotantoa varten omaan projektiin sopivia työkaluja.

Kohteessa 3 oli havaittavissa Lean -ajattelumallin tärkeys. Työmaatoimistolla oli kolme Lean-otsikoilla merkittyä taulua keskeisellä paikalla kaikkien nähtävillä. Ensimmäinen tauluista vertailee keskenään perinteisen mallin sekä Lean -mallin ajattelutapoja. Samoja

Lean-ajattelumallin ominaisuuksia listataan tämän diplomityön kirjallisuussosiossa. Työmaatoimiston toisessa taulukossa on myös Lean -henkisiä lausahduksia. Kohteen 3 tarkoituksena onkin luoda Lean -henkinen työilmapiiri. Kolmannessa taulussa on listattu kahdeksan hukkaa. Nämä asiat toimivat myös perustana onnistuneelle tahtituotannon käyttöönnotolle ja näiden oppien jalkauttamista viedään työmaatasolle.

Viikoittaiset rutiinit ei oltu vielä sisävalmistusvaiheen osalta lyöty lukkoon. Vastaanotto-katselmuksien suhteen, ei oltu vielä suunniteltu tullaanko ne tekemään jokaisen tahdin jälkeen kuten kohteessa 2. Työmaalla tullaan sisävalmistusvaiheen osalta ainakin tarkistamaan aina alkuvuikosta, mitkä työtehtävät viikon aikana täytyy suorittaa ja loppuvuikosta tarkistetaan, onko näiden työtehtävien osalta päästy haluttuun lopputulokseen. (H7) Rutiineihin kuitenkin kuuluu päivittäiset tahtitapaamiset, urakoitsijapalaverit ja muut palaverit.

Ongelmanratkaisua varten kohteen 3 haastateltava urakoitsija osallistaa työnjohtajiaan olemaan oma-aloitteisia, aktiivisia sekä avoimia epäselvyyksien osalta. Urakoitsija myös rohkaisee työntekijöitään nostamaan tahdin epäkohtia esille, jotta ne voitaisiin yhdessä selvittää. Osaamista pyritään lisäämään myös sillä, että työmaalla työskenteleville jaetaan avoimesti kaikenlaista tahtiin liittyvää tietoa. Työmaahenkilöstö aloittaa jokaisen päivän käymällä yhdessä läpi edellisen päivän tilanne tuottavuuden ja aikaansaannosten osalta sekä aikataulutilanne. Lisäksi selvitetään, ovatko kaikki tahtialueet kunnossa. (H10)

Kohteessa 3 oli simuloitu tai harjoiteltu hankalampia asennuksia etukäteen. Lasijulkisivun asennuksia oli mallinnettu ja haettu optimaalisinta ratkaisua asennustyön helpottamiseksi sekä nopeuttamiseksi. Samalla pystytään käymään läpi rajapintojen mahdollisesti aiheuttamia ongelmia. Työn harjoittelua varten oli varattu tila työmaatoimistojen läheltä, jotta harjoittelu onnistuisi mahdollisimman sujuvasti eikä veisi liikaa aikaa liikkumiseen. Työn simulointia 4D-mallilla oli myös käytetty esivalmistettuihin levyseiniin, esivalmistettuihin putkielementteihin ja niiden haalaukseen. Tuotannon simulointi ennen asennustöiden aloittamista tulisi tehdä ainoastaan sellaisissa tapauksissa, jossa se on aidosti tarkoituksenmukaista (H11). Myös eri työtehtävien toteutuksen osia voidaan simuloida ja tunnistaa mahdolliset ongelmakohdat.

Päivittäinen tahtitapaaminen

Kohteissa 2 ja 3 työnohjaukseen ja laadunvarmistamisen osalta järjestetään päivittäin tahtitapaaminen (Daily Huddle) kello 7 aamulla. Työmaakerroksella on mukana vähintään yksi jokaisen urakoitsijan edustaja. Työmaakerroksella käydään läpi myös tahtiaikataulu sekä varmistetaan, voidaanko kaikki päivän työtehtävät suorittaa aikataulun mukaisesti. Urakoitsijoiden työnjohtajat jakavat eteenpäin työmaakerroksella tulleita tietoja omille asentajilleen ja näin ylläpitävät omien työntekijöidensä ymmärrystä tahdistista (H10). Kohteessa 2 jokainen työnjohtaja kävi omien juniensa urakoitsijoiden kanssa työt läpi päivittäisessä tahtitapaamisessa.

Sitouttaminen

Tahtituotantoa ei voida toteuttaa onnistuneesti, jos urakoitsijat eivät usko tahdin toimivuuteen (H8). Tahtituotannossa on myös tärkeää, että kaikki osapuolet haluavat yhteisvoimin onnistua projektissa. Esimerkiksi allianssitoteutusmallissa kaikki osapuolet hyö-

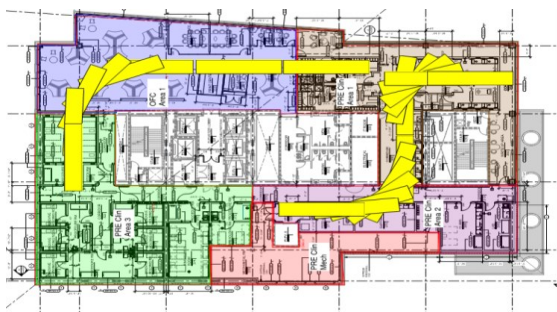
tyvät myös taloudellisesti, jos projekti valmistuu ajoissa ja projekti on onnistuttu rakentamaan budjetin sallimissa rajoissa. Allianssimalli on hyvä tapa implementoida tahtituotannon käyttö ja se myös helpottaa tahdin opettelua (H11).

Kohteessa 3 esiintyi aluksi haasteita työtehtävien suorittamisen nopeudessa. Käytännössä työtehtävät eivät edenneet riittävällä nopeudella ja se aiheutti urakoitsijoiden turhautumista tahtituotantoon. Toisaalta tilanne sai urakoitsijat käyttämään enemmän aikaa aikataulun havainnointiin ja ymmärtämiseen. Myös urakoitsijoiden projektipäälliköiden tahotila oli sitouttaa omat työntekijänsä tahtituotantoon. Sitouttamisen kannalta haasteellisia pidettiin pitkään rakennusalaalla työskennelleitä työntekijöitä, sillä usein heillä on vahvin muutosvastarinta uusia prosesseja kohtaan sekä he eivät halua muutoksia toimintatapoihin (H7 ja H8). Tahtituotannon osalta nämä henkilöt eivät näe, että työvaiheita voi luokitella esimerkiksi viiden päivän ”tahtilaatikkoon” (H8). Laatikoilla tarkoitetaan esimerkiksi yksittäisiä vaunuja. Pitkään alalla työskennelleille tulisi osoittaa, että tahtia käytetään apuna työtehtävien oikea-aikaisuuden suunnittelemisessa ja että prosessi toimii tehokkaammin kuin muut prosessimallit (H7 ja H8). Joidenkin urakoitsijoiden keskuudessa ei uskottu tahdin tuomaan jatkuvaan työvirtaukseen eikä tasaisuuteen (H8).

Yhteistoiminta tahtituotannossa nousee myös esille urakoitsijoiden työntekijöillä. Tahtituotannon ominaispiirteet kannustavat työntekijöitä tekemään yhteistyötä muiden urakoitsijoiden kanssa työtehtävien yhteensovittamiseksi. Tämä auttaa hahmottamaan projektin eri osa-alueita kokonaisvaltaisesti. Näin ollen myös urakoitsijat hahmottavat rajapintoja helpommin. Useimmat yrityksen työntekijöistä ovat ottaneet tahtituotantoprosessin hyvin vastaan ja sisäistäneet hyödyt, vaikka (H10) mukaan myös vastarintaa on esiintynyt. Vastarintaa esiintyykin melkein aina, kun esitetään uusia toimintatapoja tai -ohjeita. (H10)

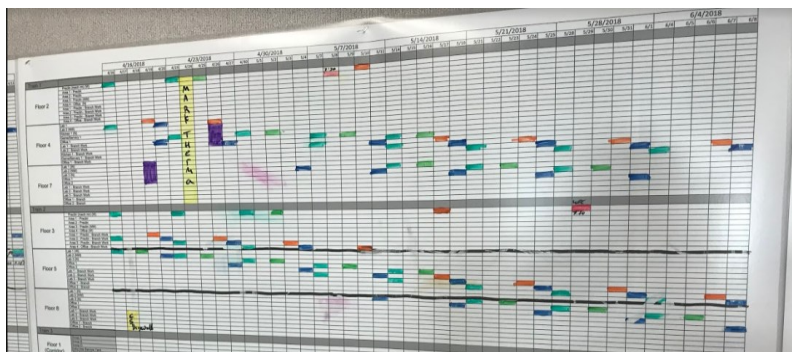
Logistiikka

Kohteessa 2 pääurakoitsija ei riskienhallinnan takia tilaa materiaaleja, vaan ne tulivat suoraan urakoitsijoilta. Pääurakoitsijavetoista materiaalien tilaamista pidettiin hyvänä mahdollisuutena hallita projektin materiaalien kokonaisuutta (H5). Työmaalla suoritettiin samanaikaisesti runko- ja sisävalmistusvaihetta, joka aiheutti logistisesti hankaluuksia esimerkiksi varastoinnin osalta. Kohteissa käytettiinkin välivarastointia eikä työmaalla saanut varastoida materiaaleja. Tästä syystä jouduttiin tekemään hyvin tarkkoja logistiikka-suunnitelmia etukäteen. Esimerkiksi joihinkin haalauksiin käytettiin tarkkaan suunniteltuja haalausreittejä (kuva 14). Kuvassa 14 on keltaisella merkitty haalausreitti tiettyihin tiloihin. Logistiset ongelmat otettiin heti hallintaan ja varsinkin isojen tavaroiden kohdalla urakoitsija määrittä, miten ja mistä tavara viedään työalueille (H4).



Kuva 14. Haalausreitit pohjakuvissa.

Kohteessa 2 materiaalitoimitukset oli osittain suunniteltu etukäteen ja toimistotiloissa oli oma materiaalitoimitusaikataulu. Toimitusaikataulussa oli tahtiaikataulun tavoin toimituksia merkitty omilla väreillä. Lisäksi toimitusaikatauluun merkittiin, milloin ja mihin tilaan tavara on tulossa. Tällä pystyttiin varmistamaan, ettei tietyllä viikolla ole samassa tilassa liikaa materiaaleja työn esteenä. Toimitusaikatauluun merkittiin kaikki tilaukset päivittäisellä tasolla. Esimerkki materiaalitoimitusaikataulusta esitetään kuvassa 15. Materiaalitoimitusaikataulun merkinnät loppuvat ennen projektin loppua, joten sitä ei ole ainakaan sellaisenaan käytetty koko kohteen ajan. Kuitenkin jo tahtiaikataulua itsessään pidettiin hyvänä lähtökohtana materiaalien tilaukseen (H6).



Kuva 15. Kohteen 2 materiaalitoimitusaikataulu.

Tuotantonopeuden ja tuottavuuden valvominen

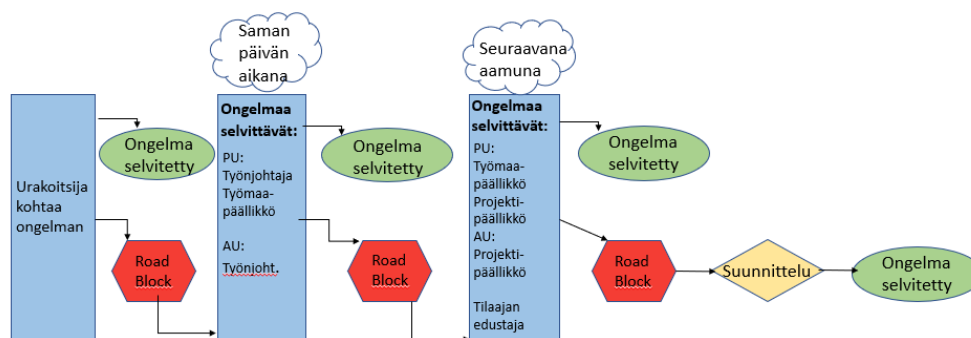
Kohteessa 2 oli muutamia kuukausia käytössä automaattinen tuotannonvalvontaan käytettävä robotti. Robotti oli käytössä ainoastaan kuusi kuukautta ja se tarkasti taloteknisten asennusten toteutusprosenttia. Robotti liikkui itsenäisesti ja skannasi esimerkiksi putkien asennuksien toteumaa viikkotasolla, jota verrattiin tahtiaikatauluun. Robotti on automaattinen työkalu, jolla pystytään tehokkaasti tarkistamaan, pysytäänkö halutussa tahdissa. Robotti pystyi 3D-mallin ja aikataulun avulla todentamaan todellisen toteutusprosentin. Robotin skannauksessa pystyttiin paikantamaan myös väärinasennetut kohdat. Robotti aiheutti aluksi haasteita, sillä raportit saatiin käyttöön vasta viikon päästä skannauksesta. Kehittämisen jälkeen päästiin kuitenkin parin päivän viiveeseen.

Kohteen 3 haastateltavan urakoitsijan yritys seuraa projekteissaan kaikkien työmaatyöntekijöiden tuottavuutta viikkotasolla. Ennakointi sekä ennustettavuus ovat erittäin tärkeässä roolissa tällä hetkellä koko rakennusallalla ja varsinkin tahtituotantoprojekteissa. Tuottavuuden seuraaminen päivittäisellä tasolla on kuitenkin haastavaa. Päivätasolla kaikkia työtehtäviä ei ole välttämättä suoritettu loppuun eli vaikka 100 metrin putki olisi asennettu, liitoksia ei välttämättä ole vielä tehty. Tuottavuuden seuranta varten suoritetaan viikoittaisia työmaakierroksia, jonka aikana merkitään pohjakuviin, mitä kyseisen viikon aikana on saatu valmiiksi. Kierroksen jälkeen hän laskee pohjakuvista määrät ja vertailee niitä suoritettuihin työtunteihin. Tuottavuusarvot sekä tietyn viikon aikana suoritettut työtehtävät käydään läpi yhdessä kaikkien urakoitsijan työntekijöiden kanssa. Haastateltavan mukaan myös asentajat pitivät siitä, että saavat tietää omat tuottavuuslukunsa. Tuottavuusluku kertoo myös työntekijöille itselleen, miten tehokkaasti he työskentelevät sekä antavat jonkin luvun, jota tavoitella eli tuo kilpailullisuutta esille. (H10)

Ongelmanratkaisu

Kohteessa 2 ja 3 oli käytössä selvä toimintamalli ongelmien selvittämiseksi, joka on esitetty kuvassa 16. Kyseisessä kuvassa (sinisessä laatikossa) on esitetty, keneltä henkilöiltä

tarvitaan päätöstä tai kuka selvittää. Punaisella on merkitty ongelmatilanne, joka ei ole selvitetty (Road Block). Saman päivän aikana esille nousseet ongelmakohdat tulee hoitaa kuvan 16 osoittamien osapuolten kesken. Ongelma asetetaan päivän prioriteetiksi ja koko projektiorganisaatio on sitoutettu ratkaisemaan ongelma heti samana päivänä. Mikäli ongelmaa ei saada ratkaistua saman päivän aikana, ongelma on selvittettävä viimeistään seuraavan aamun aikana. Ongelma ratkaistaan yhdessä kuvassa 16 esitettyjen osapuolten kanssa. Tarvittaessa pyydetään paikalle myös suunnittelijat. Mikäli ongelmaa ei saada ratkaistua työmaalla, ongelmakohdasta tulee suunnitella uudestaan (keltaisella merkitty). Ongelmanratkaisumallilla oli hyvin työllistävä vaikutus varsinkin projekti-insinöörien osalta (H4). Esille nousseet ongelmat sekä niiden ratkaisutavat tulee aina dokumentoida ja tämä vie projekti-insinööreiltä paljon aikaa. Kyseisellä toimintamallilla ratkaistiin myös rajapintoihin liittyvät ongelmat.



Kuva 16. Toimintamalli ongelmien "Road Block" selvittämiseksi

Korjaustöiden minimointi

Korjauskierroksien tai työn uudelleen tekemisen ongelmien minimointiin pitää reagoida nopeasti ja korjauksia varten tehtävä suunnitelma (H4). Kohteessa 2 urakoitsijat voivat tehdä ylitöitä. Ylitöiden avulla on tarkoitus saada työt 100 prosentin valmiuteen. Puskurin antamina aikoina eli viikonloppuisin ja iltaisin on tarkoitus tehdä nämä viimeistelytyöt, jotta projektin osalta pysytään tahdissa. Korjauskierrosten minimointiin parhaiten vaikuttava toimenpide on tahdin tarkempi suunnittelu (H3). Tahtituotannon tehostamista varten painotetaan työryhmien visuaalisen kommunikoinnin tärkeyttä (H3). Käytännössä ilmoitetaan jatkuvasti kaikille osapuolille (esimerkiksi paperille), mitä työtehtäviä ei olla vielä saatu valmiiksi. Sen jälkeen voidaan yhdessä keskustella, mikä johti siihen, että korjauskierros jouduttiin tiettyjen työryhmien, -alueiden tai -tehtävien osalta tekemään. Avoimen kommunikoinnin ja ongelmatilanteisiin puuttumisen lopputuloksena ei pitäisi samoja korjaustöitä enää seuraavilla alueilla tulla.

Korjaustyöt ovat merkittävä ongelma. Kohteessa 3 ylitöiden liiallinen hyödyntäminen korjaustöiden tekemiseen onkin yksi haaste. (H7) Tarkoitus olisi siis arvioida työtehtävät uudestaan ennen niiden aloittamista. Tällä varmistetaan prosessin selvyys sekä toimivuus kokonaisuudessaan. Työtehtävät tulisikin suorittaa vaunuissa olevien tietojen mukaisesti, jolloin korjaustöitä ei pitäisi tulla lainkaan (H7). On mietitty toimintatapaa, jolla saataisiin nämä korjaustyöt sekä pienet viimeistelytyöt mukaan vaunuihin. Osa töistä ei vaikuta muiden ryhmien tahtiin, jolloin korjaustyöt tietyissä paikoissa voisivat toimia puskurina. Kohteessa 3 on suunniteltu tehtäväksi kevyempiä töitä (Light Duty Work), jolloin tilassa voi olla samanaikaisesti muitakin asennusryhmiä suorittamassa omia työtehtäviään häiritsemättä muita työryhmiä. Onkin erittäin tärkeää varmistaa, että tahdistavat työt kuten primäärityöt saadaan suoritettua loppuun asti eikä primääritöiden osalta jää mikään kes-

keneräiseksi. Projektissa käytettiin puskurina ensimmäistä kerrosta, jossa pystyttiin harjoittelemaan eri työvaiheita. Näin ollen muissa kerroksissa pitäisi työtehtävät saada kerralla oikein. On varmistettava, että työjärjestys on kaikkien tiedossa jo ennen rakennustöiden alkua ja jokainen suorittaa jatkuvasti tarkistuksia. Työnteko tulee pysäyttää tarpeeksi aikaisin, mikäli työtavassa tai työn laadussa huomataan virheitä (H8).

Urakoitsijapalaverikäytäntö


Urakoitsijapalaverien tärkeys tiedon jaossa on noussut useissa haastatteluissa ja keskusteluissa esille. Urakoitsijapalaverit ovat hyödyllisiä hetkiä jakaa tietoa, kun ne ovat suunniteltu hyvin.

Kohde 2

Havainnot kohteen 2 urakoitsijapalavereista perustuvat havaintoihin kahteen urakoitsijapalaveriin osallistumisen perusteella. Projektissa on määritelty, että jokaisen urakoitsijan työnjohtajan tulee osallistua viikoittaiseen urakoitsijapalaveriin. Palaverin alussa kehoitetaan kaikkia osallistumaan avoimeen keskusteluun. Aluksi oli yleistä keskustelua, jonka jälkeen keskusteltiin, kuinka tahtia on tarkoitus tehostaa entisestään sekä kuinka tärkeää jokaisen urakoitsijan on pysyä omilla alueillaan määritetyssä tahdissa. Lisäksi painotetaan yleisiä ja tärkeitä seikkoja kuten, ettei tavaroita saa jättää edelliselle tahtialueelle ja työtehtävät tulee suorittaa loppuun 100 prosenttisesti. Lisäksi kaikille osallistujille tehdään selväksi, kuka pääurakoitsijan työnjohtaja johtaa mitäkin junaa sekä kehen tulee olla yhteydessä mahdollisten ongelmien syntyessä. Kaikille tehdään myös selväksi, miten pitää toimia ongelmien ilmentyessä. Tätä korostettiin varsinkin siitä syystä, että yksi esille nousseista ongelmista on se, ettei urakoitsijat ilmoita aina esille nousseita ongelmia pääurakoitsijalle. Tällöin on erittäin haastavaa ennakoida ja suunnitella hidasteen mukaan tulevien työvaiheiden toteutusta.

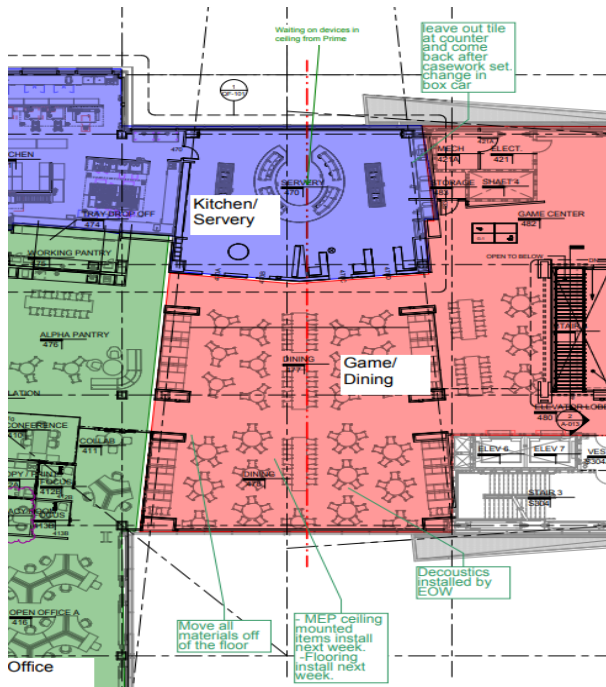
Palaverien tarkoitus on käydä läpi kyseisen viikon tahti sekä hieman ennakoida tulevia tilanteita parin viikon päähän. Palavereissa käydäänkin läpi jokaisen junan tilanne tahtiaikataulun mukaisesti. Jokaisen junan senhetkinen tilanne käydään läpi jokaisen kerroksen sekä tahtialueen osalta. Lisäksi käydään läpi jokaisen junan osalta myös seuraavan viikon tahtialueet. Yksittäiset tahdit käydäänkin läpi hyvin tarkalla tasolla. Tarkemman läpikäynnin tarkoitus on selvittää, onko kenelläkään esteitä, jotka haittaavat töiden edistymistä omilla tahtialueillaan. Mikäli tiettyjen työtehtävien kanssa esiintyi ongelmia, voitiin näiden tahtialueiden osalta käydä työtehtäviä läpi jopa päivittäisellä tasolla. Yksittäisiin urakoitsijoihin ja työnjohtajiin liittyvät ongelmat käydään läpi ainoastaan asianomaisten kesken palaverin jälkeen. Näin pystytään keskittymään palaverissa asioihin, jotka liittyvät isoon osaan osallistujista eikä palaverin kestokaan veny liian pitkäksi.

Urakoitsijapalavereissa on tarkoitus ennakoida tulevia töitä, ennaltaehkäistä ongelmia sekä pitää ongelmien laajuus mahdollisimman pienenä. Toisessa urakoitsijapalaverissa oli teemana käydä läpi ongelmakohtia (Road Blocks), jotka aiheuttavat urakoitsijoille esteitä siirtyä seuraavalle tahtialueelle. Palaverissa korostettiin taas sitä, että jokaisen pitäisi helposti löytää tieto eri junien vastuuhenkilöistä. Tämän asian tärkeys nousi esille aina, kun havaittiin joku tuotannollinen ongelma. Lisäksi urakoitsijat ilmoittivat palaverissa, etteivät tahtisuunnitelmat ole ajan tasalla, mikä taas aiheuttaa työmaalla ristiriitoja. Tahtiaikataulua itsessään ei päivitetä, vaan vaunujen sisällä olevia työtehtäviä tai työjärjestyksiä päivitetään tarvittaessa. Kohteessa 2 muutokset sekä lisäykset on merkitty keltaisella pohjalla kuten kuvassa 17 esitetään.

	Vivarium	Sill Wall Trim Caps Doors and Hardware Install Countertops
	Offices, Bathrooms, Game&Dining	Install Carpet/Rubber Floor Furniture Whips (Amenities Area 1) - Monument Stair Glass (wk 1/3) (Amenities Area 1) - Auditorium Exterior Wood Panels (wk 2/3)
	Labs	Install Lab Casework (wk 2/2) Sink and Service Chase Install (wk 2/2)
	Kitchen & Servery	Kitchen Equipment and MEP Hook Ups/Trim (wk 4/6)
	Auditorium	Interior wood panel install (wk 1/4) (strip lighting coordinated install starting from midpoint of stage moving counter clockwise)
	Service Yard	Install Equipment including Bulk Tanks and Equipment (wk 1/2)
	L1 Corridor	Flooring and Base

Kuva 17. Vaunuissa olevien työtehtävien muutokset ja lisäykset merkitty keltaisella

Tiedot kaikista muutoksista ja vaunujen merkinnöistä lähetetään urakoitsijoille osana urakoitsijapalaverin muistiota. Muistiosta löytyy myös tahtiaikataulu sekä pohjakuviin merkityt kommentit. Pohjakuviin merkitään yleensä kommentein aikaisemmin mainittuja ongelmakohtia tai muita tiloissa tapahtuvia muutoksia ja korjauksia (kuva 18). Tämänkaltaisen palaverin läpikäynti onkin todettu toimivaksi, sillä kaikki osallistujat joutuvat keskittymään aiheeseen koko palaverin ajan. Yksittäisen urakoitsijan osalta asioita saattaa nousta esille useampaan kertaan eri kerrosten tai tahtialueiden osalta. Lisäksi palaverissa myös kehuttiin avoimesti urakoitsijoita, mikäli he olivat onnistuneet jossain hyvin. Urakoitsijapalaveriin osallistui myös yksi kohteen 3 työnjohtajista, joka halusi oppia lisää palaverikäytännöstä sekä tahtisuunnittelusta. Yrityksessä kannustetaan työntekijöitä hakemaan tietoa sekä uusia oppeja ja osaamista myös muista projekteista. Urakoitsijapalaverissa käytiin läpi koko rakennukseen liittyvät asiat 1,5 tunnissa.



Kuva 18. Pohjakuviin merkittyjä huomioita urakoitsijapalaverista.

Kohde 3

Havainnot kohteen 3 urakoitsijapalaverista perustuvat yhden palaverin osallistumiseen. Myös kohteessa 3 on määritetty, että jokaisen urakoitsijan työnjohtajan tulee osallistua

palaveriin. Urakoitsijapalaverit oli jaettu kahdelle päivälle, maanantaille ja perjantaille. Maanantaipalaverissa ennakointiin tulevan viikon tapahtumia ja perjantaipalaverissa käytiin kuluneen viikon tapahtumat läpi. Kohteen 2 palaverikäytännöt poikkesivat merkittävästi kohteen 3 käytännöistä. Esimerkiksi runkovaiheessa ei pidetty järkevänä käydä yksityiskohtaisesti ja kerrallaan läpi koko tahtialuetta. Varsinkin, kun runkovaiheen ensimmäinen kerros oli vielä kesken.

Kohteen 3 urakoitsijapalaverissa oli asijärjestyksessä ensimmäisenä työturvallisuusasioiden läpikäynti. Logistiikan osalta käytiin läpi otettujen kuvien perusteella senhetkinen tilanne materiaalien siirtämisestä eri alueille. Selviteltiin millä alueilla materiaalitarvetta on sekä mitä voidaan logistisesti tehdä materiaalivirran parantamiseksi. Lisäksi urakoitsijat kertoivat, mitä heillä oli juuri sillä hetkellä työn alla ja mitkä asiat vaikuttavat materiaalien viemiselle oikeaan paikkaan. Seuraavana oli materiaalitoimitusten läpikäynti. Pääurakoitsijalla on olemassa materiaalitoimituksia varten ohjelma, johon tulee ilmoittaa seuraavan kahden viikon materiaalitoimitukset. Työtehtävien sujuvan suorittamisen yhtenä edellytyksenä on materiaalien riittävyys ja sitä painotettiin palaverissa. Työmaalla halutaan välttää tilanteita, joissa materiaalien loppumisen vuoksi työtehtävien suorittaminen joudutaan hetkellisesti pysäyttämään.

Materiaalitoimitusten jälkeen käytiin läpi yksittäisiä tahdistavia työvaiheita. Selvitettiin näiden työvaiheiden sen hetkinen tilanne sekä tarvittavat toimenpiteet. Lisäksi ilmoitettiin kaikille urakoitsijoille, että ylityötarpeista on ilmoitettava pääurakoitsijalle aina etukäteen. Kohteessa 3 ei haluttu käyttää ylityötunteja ollenkaan, joten ylityöiden tekemiseen vaadittiin aina erillinen ilmoitus. Ilmoituksen jälkeen selvitetään yhdessä, onko ylitöille aito tarve vai saataisiinko työtehtävien pysymään aikataulussa jollakin muulla tavalla. Työvaiheiden läpikäymisen jälkeen siirryttiin tahtiaikataulun läpikäyntiin. Palaverissa on tarkoitus käydä tahtialueet pintapuolisesti läpi ja tarkistaa kyseisen viikon tilanne aikataulusta. 3D-mallista tarkistettiin mahdollisia ongelmakohtia, jotka voivat myöhemmin ylemmissä kerroksissa nousta esille. Näille ongelmille luodaan erillinen toimintasuunnitelma, jolloin ongelmia voidaan mahdollisesti jopa ennaltaehkäistä tai ongelman ilmetessä se saadaan nopeasti ratkaistua. Viimeisimpänä osiona palaverissa käsiteltiin laatua, jossa käytiin läpi tulevat laatupalaverit sekä työ- ja materiaalilaatuun liittyviä asioita.

5.4.1 Tahtiohjauksen analysointi

Tässä luvussa on tarkoitus analysoida tapauskohteiden tahtiohjausta sekä vertailla tuloksia kohteen 1 ja asiantuntijahaastattelussa esitettyihin näkökulmiin. Kohteiden 2 ja 3 tahtiohjauksen vertailun tekee hankalaksi kohteiden eri valmiusasteet. Kohteessa 2 on tahtiohjausta jo keretty ottamaan käyttöön sekä sieltä löytyy jo käytännön esimerkkejä. Kohteessa 3 rakennustyöt ovat vasta alussa ja tiedot perustuvat lähinnä suunniteltuun työnohjaukseen. Kohteessa 3 tullaan todennäköisesti käyttämään sisävalmistusvaiheessa samantapaisia käytäntöjä kuin kohteessa 2. Kuitenkin lähtökohtaisesti kohteessa 3 vaikutti olevan helpompaa toteuttaa tahtiohjausta, kun kohteesta 2 saatiin paljon tukea ja käytännön esimerkkejä. Jo hyviksi todettuja käytäntöjä kohteesta 2 pystyttiin kehittämään edelleen. Eroavaisuutena kohteen 2 ja 3 välillä on kuitenkin kohteessa 3 halu tuoda Lean ajattelua enemmän esille. Kohteessa 3 on myös käytetty tiettyjen työvaiheiden etukäteistä harjoittelua tai simulointia. Urakoitsijapalaverikäytäntö on kohteissa erilainen.

Pääurakoitsijan ja urakoitsijoiden sitouttaminen koettiin onnistuneeksi kohteissa 2 ja 3, vaikka aluksi se koettiin hyvin haasteelliseksi. Sitouttamista pidettiin tahtituotannolle hyvin kriittisenä. Sitouttaminen nousee esille tahtisuunnittelussa ja tahtiohjauksessa sekä

monet haasteet johtuvat eri osapuolten sitoutumattomuudessa. Urakoitsijan näkökulmasta hyötynä tahtituotannon sisäistämiseen ja siihen sitouttamista pidettiin omien työntekijöiden käyttöä, jolloin tahtituotannon opettaminen on merkittävästi helpompaa sekä tehokkaampaa. (H10) Haastateltava siis näkee, että aliurakointi hieman vaikeuttaa osapuolten sitouttamista tahtituotantoon.

Kohteet 2 ja 3 ovat kuitenkin hyvin samantapaisia päivittäisjohtamisen suhteen. Tärkeinä asioina pidettiin kummassakin kohteessa avoimuutta ja varsinkin avointa keskustelua. Selkeiden rutiinien luominen, esimerkiksi tarkastusten suhteen, on myös kummassakin kohteessa osa käytäntöä. Päivittäisiä tahtitapaamisia on käytössä molemmissa kohteissa. Ongelmanratkaisumalli, joka on esitetty sivulla 60, on käytössä kohteissa 2 ja 3. Kyseinen malli oli todettu toimivaksi. Molemmissa kohteissa oli alussa vastahakoisuutta tahtituotantoa kohtaan, mutta sitouttaminen oman organisaation ja eri osapuolten kanssa oli onnistunut hyvin. Sitouttamista pidettiin lähtökohtaisesti tärkeimpänä yksittäisenä tekijänä. Kohteessa 1 pidettiin tahtituotannon vastahakoisuutta yhtenä merkittävimmistä haasteista.

Ohjaustoimenpiteenä käytettävästä junan pysäytyksestä oltiin montaa mieltä. Yksi mielihypide oli, ettei junan pysäytystä kannata käyttää ollenkaan (H7). Ohjaustoimenpiteenä sitä ei myöskään käytetty kohteessa 2. Kohteessa 3 junan pysäytystä ei vielä tutkimuksen aikana ollut käytetty. Kuitenkin (H11) piti ongelmallisena ajattelutapaa, ettei junan pysäytystä käytetä. Myös (H3) kehottaa pysäyttämään junan heti, mikäli huomataan jokin ongelma, joka on viemässä projektia ei-suunniteltuun suuntaan. Junan pysäyttäminen vaatii erityistä johtajuuden taitoa (H3). Mikäli tuotantoa ei pysäytetä virheellisen työtavan tai –vaiheen takia, se voi vaikuttaa linkitetysti kaikkiin muihinkin työvaiheisiin, jolloin ongelmasta muodostuu todella iso. Junan pysäytys esitettiin Binninger et al. (2017) yhtenä eniten käytettynä ohjaustoimenpiteenä, joka tukee (H11 ja H3) näkemystä.

Tuottavuuden tai tuotantonopeuden seuranta varten kohteessa 2 oli käytössä muutamia kuukausia robotti, joka automaattisesti keräsi viikoittain tietoa valmiudesta. Myös tahdissa pysymisen toteumaa seurattiin pääpiirteittäin. Kohteessa 3 ei vielä aineistoa ollut ja tuottavuuden seuranta koostui ainakin yhden urakoitsijan kohdalla itse keräämästään tiedosta. Kuitenkaan saadusta tapauskohteiden aineistosta ei käynyt ilmi selkeää tuotantonopeuden seuranta, kuten esimerkiksi (H12) esitti laskennallisesti työtuntien seuraaminen per alue per viikko. Tuloksella saisi päivittäistä tietoa tai ennustetta, miten tahdin suhteen ollaan pitkin viikkoa etenemässä. Kohteessa 1 tuotantonopeutta valvottiin pääsääntöisesti aikataulun perusteella ja ongelmallisia työvaiheita seurattiin tarkemmin. Kuitenkaan kohteessa 1 ei tehty tuottavuuden tai määrien suunnitelmallista seuraamista. Urakoitsijan näkökulmasta valvonta ei juurikaan poikkeaa tahtituotannossa perinteisestä tuotantoprosessista (H10). Tahtituotannon pääasiallinen tehtävä on toimia työnjohtajien sekä työntekijöiden apuna, jotta he pystyvät helposti hahmottamaan kokonaistilanteen sekä lisäksi missä ja mitä heidän kuuluisi olla tietyllä hetkellä tekemässä.

Kohteen 2 urakoitsija piti avainasiana tahtiprojektiin osallistumiselle tahtiprojektiin tietomallinnettua rakennusta. Projekti nähtiin visuaalisesti etukäteen ja osattiin havaita, mitkä asiat ovat rajoittavia tekijöitä ja mitkä eivät. Hänen mielestään projektissa oltaisiin voitu käyttää onnistuneesti tahtia, vaikkei projektin osalta olisikaan ollut tietomalli käytössä. Ilman tietomallia ei kuitenkaan oltaisi voitu tehdä hyviä ratkaisuja suunnittelun osalta. (H6) Tietomallia onkin hyvä käyttää yhtenä digitaalisena työkaluna määrien saamiseksi sekä vertailuna toteutukseen.

Korjaustyöt tai työn loppuun asti saattaminen tunnistettiin haasteeksi molemmissa projekteissa. Tapauskohteissa oli mietitty toimintatapoja korjaustyön minimoimiseen. Kohteessa 2 käytettiin ylitöitä ja painotettiin visuaalisen kommunikoinnin tärkeyttä. Kohteessa 3 taas suunniteltiin työt jaettavaksi primääri- ja sekundäärityöhön. Sekundäärityöt ovat joustavampia ja näiden aikana voidaan käyttää tahtialuetta myös töiden loppuun saattamiseksi. Sekundääritöiden ohella tehtäviä korjaustöitä tukee myös (H11) ja hänen mielestään korjaustyöt eivät aiheuta haasteita, jos ne eivät häiritse muita urakoitsijoita. Projektien kokonaiskapasiteetti on kuitenkin hyvin joustava (H11). Toisaalta (H4) näkee, että vaikka tahdissa ei päästä 100 prosenttiin, ei se ole täysin ongelmallista. Sillä seuraavan viikon maanantaina voi suorittaa keskeneräiset työt loppuun. Seuraava urakoitsija ei tarvitse koko aluetta heti alussa. Kohteessa 2 tahtialueille palaamisesta keskusteltiin avoimesti. Esille nousi myös se, että monilla urakoitsijoilla todennäköisesti on tarvetta palata tahtialueille. Näin ollen käytäntö on yhdessä sovittu. Tällainen ajattelutapa voi olla hyvin haasteellinen ja aiheuttaa enemmän tuhoa kuin hyötyä. Pääurakoitsijan on kuitenkin hyvä tiedostaa, ettei tällainen myöhästyminen tarkoita, ettei tahtituotantoa voi enää jatkaa tai se on epäonnistunut.

Logistiikka oli myös tunnistettu molemmissa kohteissa haasteeksi sijainnin vuoksi. Urakoitsijat käyttivät välivarastointia ja toivat vain asennettavaksi menevät materiaalit työmaalle. Kohteessa 2 oli ollut kokeilussa tahtimainen materiaalitoimitusaikataulu. Tarkempi analyysi näyttää, ettei värit anna tarkkaa ymmärrystä onko kyseessä tietyn urakoitsijan materiaalit. Samaa väriä on käytetty samaan aikaan eri junissa sekä tahtialueissa. Materiaalitoimitukset myös eroavat taulukosta 6, sillä toimituksia on useampana päivänä viikosta eikä vain alkuvuikosta. Materiaalitoimitusaikataulu vaatii vielä kehitystä, mutta on logistiikan hallintaan toimiva työkalu. Urakoitsijat joutuvat etukäteen miettimään materiaalitoimituksia, jolloin voidaan päästä JOT-toimituksiin. Välivarastot ovat Lean periaatteiden mukaisia ja vähentää varastointia työmaalla. Välivarastointi suojaa materiaaleja paremmin, sillä työmaalla materiaalit vaurioituvat helpommin. Logististen ongelmien takia välivarastointi auttaa ylläpitämään riittävästi tilaa työmaalla asennuksia ja haalauksia varten. Kuitenkin yleinen mielipide oli se, että tahtisuunnitelman tarkkuus jo itsessään helpottaa materiaalien tilausta ja toimitusta. Kohteessa 1 ongelmana olikin materiaalin toimitus oikeaan aikaan. Tällä oli negatiivinen vaikutus työn tasaisuuteen ja tahdissa pysymiseen. Tämä on myös vaikuttanut kohteen 1 työn saattamiseen loppuun annetussa tahdissa.

5.5 Suunnittelun vaikutus tahtituotantoon

Kohde 2

Kohteessa 2 esiintyi suunnitelmien osalta ns. perinteisiä ongelmia eli toteutussuunnitelmat eivät olleet valmiita ajallaan. Kohteessa onnistuttiin kuitenkin selvittämään kyseinen ongelma tekemällä suunnittelijoiden kanssa tiivistä yhteistyötä. Lisäksi urakoitsijat käyttivät omia suunnittelijoita, jonka ansiosta he saivat suunnitelmat nopeammalla aikataululla. Suunnitteluongelmiin saatiin vastaukset nopeasti, koska pääurakoitsijan, tilaajan sekä urakoitsijoiden edustajat ovat kaikki päivittäin työmaatoimistossa. Koska kaikki tärkeät edustajat ovat läsnä ja paikan päällä, he pystyvät ottamaan nopealla aikataululla ja tehokkaasti kantaa eri ongelmiin tai päätöksiin. Kohteessa 2 oli suunnitteluongelmiin liittyvissä asioissa etulyöntiasema, koska he omistivat sopimuksen suunnittelijoiden kanssa (H4). Näin ollen heillä oli päätäntävalta moniin muutoksiin liittyviin asioihin. Suunnittelun osalta voi koitua merkittäviä haasteita ja ongelmia, jos heillä ei olisi sopimuksen perusteella vaikutusvaltaa suunnitelmiin liittyviin päätöksiin (H4). Suunnitelmiin liittyvät

ongelmat ovat myös vaikeasti kontrolloitavia, jos ei ole päättäväisyyttä. Ongelmallisena tilanteena pidettiin sitä, että tahtituotanto tuodaan yleensä esille vasta suunnittelun jälkeen (H3). Tämä tieto taas vaikuttaa merkittävästi suunnitelmiin. Suunnittelijoiden tulee suunnitella tahtituotannolle (H3). Tämä tarkoittaisi sitä, että suunnitellaan alue kerrallaan valmiiksi ja tahtiaikataulu näyttää kriittisen polun.

Kohteen 2 käyttäjämuutosten vaikutus oli suurimmaksi osaksi vain yhdessä kerroksessa. Käyttäjämuutosten vaikutusta pystyttiin pienentämään käyttämällä neljää juna, jolloin muutokset vaikuttivat ainoastaan yhteen junaan (H4). Tilaajan kanssa käytiin muutokset vielä erikseen läpi, ovatko muutokset aidosti välttämättömiä vai onko kyse ainoastaan toiveesta/halusta (Want and Need problem). Tahtituotanto auttoi vähentämään toiveen/halun tarpeiden toteutusta, koska niihin ei oltu varauduttu aikataulullisesti (H4). Näissä tapauksissa tilaaja voi itse toteuttaa muutokset sen jälkeen, kun kohde on luovutettu tilaajalle. Käyttäjämuutosten toimintatavan mukaisesti käyttäjän toivomat muutokset pystytään toteuttamaan heti, mutta muiden työtehtävien suorittamista siirretään aikataulullisesti tarpeen mukaisesti eteenpäin. Sama toimintatapa oli käytössä myös kohteessa 3. Käyttäjämuutokset ovat olleet helpompia, kun on pystytty käyttämään omia työntekijöitä esimerkiksi väliseinien ja alakattojen teossa (H5). Aikaisemmin on käytetty ratkaisua, jossa käyttäjämuutokset, korjaustyöt tai pienet keskeneräiset työtehtävät laitettiin ihan omaan tahtijunaan (H4). Tähän junaan lisättäisiin kaikki keskeneräiset ja tekemättömät työtehtävät.

Kehitystoimenpiteenä käyttäjämuutosten osalta on tärkeää varmistaa etukäteen suunnitelmien osalta kaikki yksityiskohdat, sillä monet muutokset voidaan ennaltaehkäistä pohjimalla etukäteen. Toisena kehitystoimenpiteenä on oikeiden osapuolten paikan päällä oleminen ja selvittäminen, mitä työtiloihin oikeasti tarvitaan. Esimerkiksi kohteessa 2 käyttäjäsuunnittelua varten hankittiin VR-lasit, joilla voitiin havainnollistaa tiloja etukäteen. (H4) Ongelmana tässä pidettiin sitä, että ainoastaan pääarkkitehti tutki tiloja VR-laseilla eikä kyseisten työtilojen loppukäyttäjät. Hyvänä työkaluna suunnitelmamuutoksille ehdotettiin omaa tahtiaikataulua, josta näkisi kuinka monta tahtia aikaisemmin tulisi muutossuunnittelu lopettaa, jotta muutokset eivät vaikuttaisi tuotantoon (H4).

Kohde 3

Kohteessa 3 on myös ollut suunnittelun koordinoinnin kanssa ongelmia, vaikka Big Room -käytäntö on helpottanut yhteistyötä suunnittelijoiden kanssa (H8). Suunnitelmiin tehdään jatkuvasti muokkauksia, koska suunnittelu on koko ajan käynnissä, jolloin muutoksilta ei voida välttyä (H7). Aluksi tahtiaikatauluun oli merkitty erikseen myös suunnitelmarajoitteet. Merkintöjen ansiosta kaikilla osapuolilla on selkeä tieto suunnittelun tilanteesta. Lopuksi päädyttiin merkkamaan suunnitelmapuutteet BIM 360 Plan -ohjelmaan, sillä suunnitelmien muutostarpeita nousi esille päivittäin ja kaikki osapuolet (kuten suunnittelijat, urakoitsijat ja pääurakoitsija) pystyivät käyttämään kyseistä ohjelmaa. BIM 360 Plan -ohjelmaan pystyttiin dokumentoimaan suoraan kaikki suunnitelmatarpeet sekä aikatauluttaa tarve, milloin suunnitelmia viimeistään tarvitaan. Lisäksi suunnittelutarpeiden dokumentointi kyseiseen ohjelmaan helpottaa kokonaisvaltaisesti suunnittelutarpeiden seurantaa.

Käyttäjämuutokset eivät olleet vielä vierailuun mennessä aiheuttaneet ongelmia kohteessa 3. Projektissa tehtiin paljon mallintamista sekä BIM-koordinoitua, jolla tähdätään siihen, ettei käyttäjämuutoksia tarvitsisi tehdä ollenkaan (H8). Muutoksien vähentämiseen vaikuttaa myös kohteessa käytetty koordinoituihin eli huone kerrallaan varmistetaan,

että huoneista löytyy kaikki asiakkaan tarvitsemat ratkaisut. Tilaajalle ilmoitetaan päivämäärä, jonka jälkeen muutostoiveita ei voida ottaa enää huomioon. Lisäksi käyttäjämuutoksiin vaikuttavia tekijöitä ovat esivalmistettuihin tuotteisiin käytettävä aika sekä suunnittelun että tuotannon osalta. Aluksi käyttäjämuutokset oli myös sijoitettu osaksi tahtiaikataulua, mutta ne jouduttiin myöhemmin poistamaan aikataulusta, koska käyttäjämuutoksiin varattu aika käytettiin todellisuudessa asennusongelmiin. Pienempiä käyttäjämuutoksia voidaan hallita siten, että tilat, joihin tulee muutoksia, keskeytetään siihen asti, kunnes saadaan tilan lopulliset suunnitelmat (H7). Sen jälkeen palataan muutosalueelle tekemään toivotut muutokset. Tämä toimintatapa toimii yksittäistapauksissa, muttei kuitenkaan useiden alueiden tai jatkuvien muutosten osalta. Mikäli muutosalueita jätetään pois liian monta kertaa, näkyy sen vaikutus aikataulusta myöhästymisenä. Korjaustyökierroksia varten pitäisi luoda ylimääräinen korjaustyöjuna, joka sisältäisi kaikki käyttäjämuutokset. Huonoin vaihtoehto on ”tulipalojen sammuttelu” eli työtehtäviä suoritetaan samanaikaisesti kuin tehdään suunnitelmamuutoksia (H7).

Suunnittelun vaikutuksen analysointi

Kohteen 1 haasteena oli kuinka käyttäjämuutokset tulisi aikatauluttaa ja suorittaa tahtituotannossa. Tahtituotannossa voitaisiin käyttäjämuutokset tehdä tahdin ulkopuolella varsinkin sellaisissa tilanteissa, joissa tiloihin ei ole vielä saatu vuokralaisia (H4). Näin ollen projektin ulkopuolella tehdyt muutokset eivät vaikuta tahtiin eikä tahdin aikatauluun. Lisäksi hän ehdottaa viikon mittaisen tahdin laittamista tahtiaikatauluun tilanteissa, joissa vuokralaiset tai asiakkaat tulevat mukaan kesken projektin. Kohteen 1 käyttäjämuutoksen laajuus oli niin suuri, että se esti seuraavien työvaiheiden etenemistä useassa kerroksessa. Näin ollen käyttäjämuutosten siirtäminen tahdin ulkopuolelle ei olisi auttanut kohteen 1 ongelmassa. Kohteessa 3 nostettiin myös esille, että muutosalueita ei voi jättää pois eli siirtää myöhemmäksi liian monta kertaa. Ehdotusta voi kuitenkin soveltaa tulevissa kohteissa. Vaihtoehtona on myös aiemmin esitetty oma tahtijuna käyttäjämuutoksille.

Kohteen 3 alussa suunnitelmarajoitteet merkittiin tahtiaikatauluun. Suunnitelmapuutteiden ja -rajoitteiden ylläpitämisen tahtiaikataulussa nähtiin haasteellisenä, sillä puutteita ja rajoitteita nousi esille paljon. Lisäksi haasteita aiheuttaa myös se, että tahtiaikataulu on tarkoitettu enemmän työmaa- kuin toimistokäyttöön. (H8)

Binninger et al. (2017) esittää kuitenkin ohjaustoimenpiteitä, joita voidaan käyttää pienempiin muutoksiin. Samaa ehdotti myös (H7), josta antoi esimerkkinä tahtialueen siirtämiseksi myöhempään vaiheeseen. Tahtisuunnittelu tulisi sisällyttää myös osaksi yleistä suunnittelua ja suunnittelijoiden tulisi ymmärtää tahtituotantoprosessi (H12). Strateginen päätös pitää tehdä käyttäjämuutosten osalta eli minkä tason suunnitelmilla rakennetaan (H12) sekä pohtia soveltuuko kohde suunnitelmien osalta tahtituotantokohteeksi.

5.6 Havaitut haasteet tahtituotannon implementoinnissa

Tahtituotannon suurimpia haasteita ovat sosiaaliset haasteet, tahtisuunnitelman noudattaminen todellisuudessa, tuotannon vaihtelevuus, tahtialueiden jako ja materiaalien käsittely sekä logistiikka (H3).

Merkittävimpana haasteena ovat sosiaaliset tekijät (H3 ja H10). Sosiaalisena haasteena pidetään urakoitsijoiden työryhmien sitoutumista sekä tahtituotannon omaksumista (H3 ja H10). Tahtituotanto ei onnistu ilman näitä tekijöitä. Sosiaaliseen haasteeseen liittyy

usein skeptisismi. Tähän pyritään vaikuttamaan pysymällä tahtisuunnitelmassa sekä painotetaan, että tämä on uusi prosessi. Uusi prosessi yleensä aiheuttaa vastarintaa (H7) ja tahtituotannossa on havaittavissa kasvukipuja (H10). Merkittävimmät kasvukivut johtuvat henkilöstön osaamisen ja ymmärryksen osalta (H3 ja H10). Uuden prosessin takia osapuolille tulee osoittaa myötätuntoa sekä virheistä ei voida rangaista. Tahtiprosessia ei tarvitsekaan ymmärtää heti, sillä kyseessä on iso ja pitkäaikainen prosessi. Ymmärrys lisääntyy projektin etenemisen myötä ja uusien toimintatapoja sisäistäminen vie aikaa (H3 ja H7). Tärkeämpänä pidetäänkin halua ja kiinnostusta sekä ymmärtää että osallistua tahtituotantoprosessiin. (H3) On varmistettava, että henkilöstö ymmärtää, mitä tahtituotannolla tarkoitetaan sekä mihin prosessilla pyritään. Lisäksi on tärkeää varmistua, että henkilöstö osaa lukea sekä analysoida tahtiaikataulua. Onnistumisen kannalta on tärkeää, että kaikki osapuolet ymmärtävät, miksi tahtituotanto on toimivampi lähestymistapa tuotantoprosessille kuin muut vaihtoehdot. Ei riitä, että urakoitsijat vain työskentelevät yhdessä, vaan heidän on myös oltava sitoutuneita tahtituotantoon sekä yhteiseen tavoitteeseen. Haastateltava onkin huomannut, että taloteknisistä asioista vastaavat urakoitsijat ovat useimmiten sitoutuneita tahtiin sekä ymmärtävät prosessin hyötyjä. (H10) Sosiaalisilla haasteilla on merkittävä vaikutus moneen eri tahtituotannon osa-alueeseen, joka vaikuttaa esimerkiksi tahtisuunnitelman noudattamiseen.

Tahdistaluisumisen riskiä tulee painottaa sekä sitä, kuinka se voi johtaa lopulta siihen, ettei tahtituotantoa haluta käyttää enää tulevissakaan projekteissa (H3 ja H7). Tahtisuunnitelman noudattamiseen liittyy vahva ymmärrys pullonkaulatekijöistä. On myös erittäin tärkeää asettaa yleisiä käytäntöjä dokumenttien (kuten suunnitelmien) laatimisen osalta. Yksi tahtisuunnitelman noudattamiseen vaikuttava tekijä on työryhmien osaamistaso ongelmanratkaisussa, johon vaikuttaa merkittävästi myös tahtiaikataulun tiukkuus. Tahtia ei voida käyttää sellaisissa tahtituotantoprojekteissa, joissa aikataulun tiukkuuden takia ei keretä ratkaisemaan ongelmia, vaikka olisi kuinka paljon työntekijäkapasiteettia. Jotta tahtisuunnitelmaa noudettaisiin oikein, sen kouluttamiseen sekä opettamiseen on käytettävä aikaa. On erittäin tärkeää, että kaikki osapuolet ymmärtävät tahtituotantoprosessin perusasiat sekä ovat sitoutuneita prosessiin. Varsinkin työnjohtajien on sisäistettävä tahtituotannon prosessi, sillä he ovat niitä henkilöitä, jotka vievät tietoa ja osaamista eteenpäin. Myös heidän asenne tahtituotantoa kohtaan sekä mielipide prosessista välittyy työntekijöihin. Tahtiaikataulun ymmärtäminen on helppoa yksinkertaisuutensa sekä visuaalisuutensa ansiosta. Tahtisuunnitelman noudattamiseen vaaditaan kurinalaista työnjohtajaa, joka johtaa työntekijöitään tahtisuunnitelmien mukaisesti sekä pitää kaikki osapuolet ajan tasalla tahdin osalta. (H3) Ongelmaksi voi koitua tahtisuunnitelman noudattamattomuudessa esimerkiksi urakoitsijoiden halu päästä aloittamaan työtehtävien suorittaminen jo aikaisemmin eikä määrättyssä tahdissa. Urakoitsijat myös näkevät sen niin, että mitä aikaisemmin he aloittavat sitä enemmän heille jää aikaa suorittaa työtehtävänsä. Lisäksi haasteita voi aiheuttaa myös tahdin tuoma työn nopeuttaminen. Urakoitsijat haluaisivat usein lyhentää tahtiaikaa. (H7) Seuraavan haasteena on tuotannon vaihtelevuus.

Tuotannon vaihtelevuudesta ei ole tarpeeksi ymmärrystä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että työntekijöiden käyttämä aika tuottavien työtehtävien suorittamiseen ei juurikaan vaihtelee, vaan erilaiset työtehtävät vaikuttavat tuotannon vaihtelevuuteen. (H3) Työn suunnittelun osalta haasteellisena pidetään myös suunnittelun ennakoimista. On hankalaa ennakoida tahdin äärimmäistä rajaa, jolla työntekijät työskentelevät. (H7) Tuotannon vaihtelevuudella on myös vaikutus seuraavaan haasteeseen eli tahtialuejakoon. Tahtialuejaon haasteena pidetään alueiden suhteen geometristä alarajaa. Työn vaihtelevuuden takia ei kannata tahtialueita suunnitella liian pieniksi. Tämä voi johtaa siihen, että

työntekijävahvuus vaihtelee yhdellä tahtialueella todella paljon. (H3) Tilojen osalta fyysiset rajat tulevat vastaan eikä tiloissa voi työskennellä kuka tahansa tai milloin tahansa. Tällöin syntyy myös fyysisiä rajoitteita työntekijäresurssien kannalta. (H7) Lisäksi tahtialuejakoon vaikuttavat myös sosiaaliset haasteet, kuten luottamuksen puute. Jos tahtiin ei aidosti luoteta tai uskota, niin alueet suunnitellaan luonnostaan isommiksi. Aluksi kannattaakin siis aloittaa isommalla tahtialueella ja seuraavassa vaiheessa pienentää sitä. Tämä vahvistaa luottamusta tahtituotantoprosessiin. (H3)

Viimeisenä listatuista haasteista on materiaalinkäsittely ja logistiikka. Kohteessa 2 ja 3 materiaalikäsittelyn ja logistiikan suhteen ongelmana pidettiin sijaintia. San Franciscon alueella rakennetaan jatkuvasti sekä siellä esiintyy myös paljon liikennettä. Nämä tekijät aiheuttavat taas haasteita materiaalogistiikan osalta. Neljällä junalla tahdin käyttäminen voi myös johtaa siihen, että tavaraa tarvitaan usein ja paljon. Fyysisiä rajoitteita voi aiheuttaa myös laitteiden sekä työkalujen määrä, sillä koko ajan pyritään rakentamaan nopeammin ja nopeammin. Materiaalikäsittelyn ja logistiikan osalta on tärkeätä ymmärtää sekä huomata tarpeeksi ajoissa prosessin rajoitteet. Materiaalitoimituksia tulee aikatauluttaa tarkasti tehokkuuden maksimoiseksi, jottei jouduta haalaamaan kerralla liikaa. Urakoitsijan materiaalihankintaa pidetään ongelmana, sillä urakoitsijat tilaavat kaikki materiaalit itse. He suunnittelevat omat materiaalitarmeensa oman ymmärryksen pohjalta, vaikka heiltä puuttuisi kokonaan ymmärrys tahtituotannosta. Näin ollen materiaalihankinnoista voi aiheutua projektille pullonkaula (H3) Seuraavaksi esitellään urakoitsijan näkökulmasta tahtituotannon tuomaa haastetta heidän omalle työlleen.

Urakoitsijan näkökulmasta haasteellisinta tahtituotannossa ovat kompleksiset verkostolliset työtehtävät. Näillä työtehtävillä tarkoitetaan sellaisia tehtäviä, joita ei pysytä asentamaan kokonaan ja kerrallaan tietyssä tilassa, vaan verkosto ulottuu useampiin alueisiin tai kerroksiin. Verkostolliset työtehtävät ovat hänen mukaansa tehtävissä kerroskohtaisesti eikä alueittain. Varsin haasteellisena työvaiheena haastateltava piti ilmanvaihtokanavien painetestauksia. Haasteeksi koituu tarve ja halu suorittaa testaukset kerralla koko kerroksen osalta, kun taas tahtituotannossa työvaiheiden pitäisi valmistua alueittain. Haastateltavan mukaan tällaisia tilanteita varten täytyy tehdä oma suunnitelma. Esimerkiksi heidän tapauksessa testaukset suoritettiin viikonloppuisin, kun työmaalla työskenteli vähemmän työntekijöitä eivätkä testaukset vaikuttanut muiden työtehtäviin. (H6)

Esimerkkejä haasteista kohteesta 2

Yksittäisiä toimenpiteitä otettiin käyttöön haasteiden välttämistä varten. Esimerkiksi sellaiset urakoitsijat irtisanottiin, jotka eivät olleet valmiita sitoutumaan tahtituotantoon. Tämän avulla voidaan osoittaa myös muille osapuolille sitoutumisen tärkeys. Tahtialueiden suunnittelun yhteydessä urakoitsijoille oli järjestettyä tukea tahtisuunnittelun osalta. Heille demonstroitiin sekä heitä autettiin ymmärtämään, mikä olisi tehokkain sekä toimivin toimintatapa suorittaa tahdissa alueidensa työtehtävät. Tahdin omaksuminen ja sitoutuminen onnistutaan rakentamaan parhaiten yhteistoiminnallisella tahtisuunnittelulla. Oman organisaation henkilöstö on hyvin koulutettu tahtituotantoprosessin käytön osalta ja henkilöstö onkin myös hyvin sitoutunut prosessiin. Kohteessa aloitettiin tahtisuunnittelu aina hyvissä ajoin etukäteen, joka taas vaikuttaa merkittävästi tahtituotantoprosessin myöhempien vaiheiden onnistumiseen. (H3)

Aikataulutuksen osalta vastaan tuli ongelmakohta, jossa yhden urakoitsijan työtehtävät olivat suunniteltu suoritettavan virheellisesti samanaikaisesti kahdella eri alueella. On-

gelman ratkaisemiseksi urakoitsijalle annettiin kaksi tahtia aikaa saattaa työtehtävät valmiiksi kummallakin alueella. Näin ollen urakoitsijan ei tarvinnut tehdä muutoksia esimerkiksi työryhmäkokoon tai työaikoihin. Tämän avulla pysyttiin kokonaistahdin osalta aikataulussa, vaikka yksi tahti myöhästyi aikataulusta. Tätä toimintatapaa piti hyvänä ratkaisuna myös urakoitsijaedustaja, haastateltava 6. Lisäksi aikataulullisia ongelmakohtia hoidettiin suunnittelemalla kokonaan uusi tahti, jonka tarkoituksena oli saavuttaa alkupe räinen tahti. Näillä keinoilla pystyttiin ylläpitämään urakoitsijoiden osalta tasaista tuotantoa. Tuotannonohjauksen kannalta helpotettiin toimintaa myös sellaisten työtehtävien osalta, joissa oli yhtä työtehtävää suorittamassa enemmän kuin yksi urakoitsija. Eri urakoitsijat jaettiin eri juniin, jolloin esimerkiksi urakoitsija A toimi pelkästään junassa 1 ja urakoitsija B toimi junassa 2. Haastateltavan 3 mukaan aikataulutukseen liittyvien ongelmien osalta ennaltaehkäisyn kannalta olisi erittäin tärkeää selvittää pullonkaulana toimiva urakoitsija sekä keksiä tapoja, miten heitä voitaisiin auttaa.

Esimerkki haasteesta kohteesta 3

Kohteessa 3 ei ole haasteita kerennyt vielä kertymään paljoa. Haasteita on kuitenkin nousut esille tahtisuunnittelupalaverissa, joita pidetään kaksi kertaa viikossa. Toinen palaveri liittyy työn rytmitykseen ja toisessa suunnitellaan tarkemmin tahtia. Palaverissa käydään läpi työn oikea virtaus ja miten virtauksen pitäisi oikeasti toimia projektissa. Prosessi käytiin läpi kerros kerrallaan ja läpikäynnin jälkeen osalliset olivat tahtisuunnitelmien osalta paljon varmempia sekä uskoivat suunnitelmien toimivuuteen. Tahtituotannon toimivuuden osalta ei ollut varmuutta ennen tätä yhteistä läpikäyntiä. Jos halutaan ratkaista haasteet onnistuneesti, pitää olla selkeä visio sekä määränpää, miten halutaan työt toteuttaa. Henkilöstölle pitää antaa aikaa absorboida sekä omaksua työsuunnitelma, jotta kaikki osapuolet olisivat sitoutuneita tahtituotantoon. Lisäksi hän pitää tärkeänä myös sitä, että urakoitsijoiden kanssa koordinoidaan jatkuvasti yhdessä työsuunnitelmia ennen rakentamisen aloittamista. (H7)

6 Toteutusmalli ja validointi

Tässä luvussa esitetään lukujen 3-5 aineiston pohjalta tahtituotannon toteutusmalli. Valmis toteutusmalli esitetään työpajassa kohteen 1 projektiorganisaatiolle. Työpajassa on tarkoitus kehittää ja parantaa mallia yhdessä projektiorganisaatiotiimin kanssa. Lisäksi työpajassa halutaan validoida mallin käyttöä todellisuudessa. Tahtiprosessin kestosta sekä työmaaprojektin aloitusajankohdasta johtuvista syistä toteutusmallin toimivuutta ei päästä testaamaan käytännössä.

6.1 Toteutusmalli

Ensiksi esitetään toteutusmallin implementointiin vaikuttavia edellytyksiä, jotka jaetaan pakollisiin sekä tehostaviin prosesseihin. Tämän jälkeen käsitellään tahtisuunnittelun sekä tahtiohjauksen toteutusmallia. Vaikka toteutusmalli kehitetään muutaman kohteen perusteella, toteutusmalli kehitetään palvelemaan mahdollisimman laajasti sekä yleistä sällä erityyppisiä projekteja.

6.1.1 Toteutusmallin edellytykset

Yhtenä toteutusmallin perus edellytyksenä voidaan pitää sen käyttöä useissa eri projekteissa. Tutkimuksen tuloksena tätä edellytystä varten saatiin tukea tapaustutkimuksista, asiantuntijahaastatteluista sekä kirjallisuudesta. Aiemmin kohteen 3 osalta esitettiin, että DPR:llä on käytössä eräänlainen tahtituotantoprosessimalli, jota monistetaan ja muokataan seuraaviin tahtiprojekteihin sopivaksi. Kohteessa 3 on käytetty kohteen 2 tietoja prosessimallin pohjana. Kohteiden tapaustutkimukset vahvistavat myös asiantuntijoiden kanssa käytyä keskustelua tahtiprosessimallin luomisesta yritykselle, jota voidaan muokata kohdekohtaisesti sopivaksi. Myös kirjallisuus tukee tahtituotannon monistettavaa prosessia (Dlouhy et al., 2016). Tässä tutkimuksessa sekä kirjallisuudessa esitetäänkin, että toteutusmallin pohjan voi luoda, jota käytetään useammassa kohteessa.

Sitouttaminen on toteutusmallin tärkeimpiä pakollisia edellytyksiä. Yhteiseen päämäärään ja prosessiin sitouttamista pidetään kirjallisuuden sekä tämän tutkimuksen havaintojen perusteella tärkeimpänä vaikuttajana tahtituotannon onnistumisen kannalta. Sitouttaminen tahtituotantoon nähdään haastateltavien mukaan toimivan ajurina onnistumiselle, mutta tahtituotantoon sitouttamisen onnistumista pidetään haasteellisena. Kaikkien osapuolten on oltava sitoutuneita, jotta tahtituotannon implementointi voisi onnistua. Onnistumisen kannalta kaikkein tärkeimpinä pidettiin pääurakoitsijan sekä urakoitsijan sitoutumista tahtituotantoon. Myös tässä tutkimuksessa kyseistä seikkaa pidetään prosessin onnistumisen kannalta pakollisena edellytyksenä. Sitouttamisen tärkeyttä onkin painotettava pääurakoitsijan ja urakoitsijoiden kesken. Heidän on ymmärrettävä yhteiseen prosessiin sitouttamisen sekä prosessin noudattamisen kriittisyys.

Sitouttamiseen liittyy vahvasti myös avoimuus sekä yhteistoiminnallinen tekeminen. On varmistuttava, että kommunikaatio on avointa sekä tehokasta läpi koko projektiorganisaation ja mikäli havaitaan kommunikaatiossa puutteita, avointa kommunikaatiota pitää tehostaa. Joskus kommunikaation tehostaminen voi vaatia myös tiukkoja päätöksiä. Esimerkiksi pääurakoitsijan omien työntekijöiden ja urakoitsijoiden vaihtaminen avoimen ja tehokkaan kommunikaation tehostamisen vuoksi, sillä he eivät olleet valmiita sitoutumaan prosessiin.

Myös tilaajan ja suunnittelijoiden sitoutumista tahtituotantoon pidetään tärkeänä, muttei kuitenkaan onnistumisen kannalta välttämättömänä tekijänä. Näiden osapuolten sitouttaminen tahtituotantoon onkin prosessia tehostavia edellytyksiä. Suunnittelijoiden sekä tilaajan sitoutuminen voikin edesauttaa projektin onnistumista tahtituotannon kannalta. Suunnittelijoiden sitouttaminen tahtituotantoon helpottaa sekä pääurakoitsijaa että suunnittelija itseään. Tahtiaikataulu luo myös suunnittelijoille selkeän kriittisen polun. Selkeän työsuunnitelman ansiosta pääurakoitsijan on tällöin mahdollisuus vaatia suunnittelijoilta tiettyjä suunnitelmia tiettyyn päivämäärään mennessä. Suunnitelmat tulee saada ajoissa tahtiaikataulun mukaisten tietojen perusteella. Tämä seikka on hyvä ottaa huomioon esimerkiksi hankintojen sopimusneuvotteluissa.

Hyvän ja tiiviin yhteistyön sekä avoimen kommunikaation merkitys korostuu myös suunnittelijoiden sekä urakoitsijoiden välillä. Tätä korostettiin myös tapaustutkimuksissa. Kohteissa 2 ja 3 suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden välillä toteutettiin Big Room käytäntöä, joka lisäsi ja kehitti yhteistoiminnallisuutta sekä avointa kommunikointia. Keskustelut käytiin usein kasvotusten eikä sähköpostin välityksellä. Tämän käytännön ansiosta tietoa siirrettiin nopeasti osapuolten välillä. Toteutusmallissa ehdotetaankin, että yksi suunnittelija jokaisen eri osa-alueen suunnittelutiimistä olisi päivittäin työmaalla. Kyseinen toimintatapa lisäisi myöhemmin esitettävän ongelmanratkaisumallin toimivuutta.

Mikäli tilaaja ei edellytä tahtituotantoa, sen toteutus voi tulla pääurakoitsijan kannalta haasteelliseksi. Jos taas tilaaja edellyttää tahtituotannon käyttöönottoa, kaikkien osapuolten on heti sitouduttava kyseiseen toimintaprosessiin. Tätä painotettiin myös tutkimukseen osallistuneiden keskuudessa. Tilaajan vaatimus tahtituotantoprosessin käytöstä helpotti heidän yhteistä työskentelyä.

Lisäksi projektin osalta on tehtävä strategisia päätöksiä aikatauluun vaikuttavien seikkojen suhteen. Jos projekti käyttää tahtituotantoa, jatkuva käyttäjämuutosten huomioiminen koituisi isoksi haasteeksi. Tällaisten tilanteiden välttämiseksi on päätettävä lopulliset päivämäärät, minkä jälkeen ei enää muutosehdotuksia oteta vastaan. Strateginen päätös tässä tapauksessa on se, otetaanko asiakkaan muutosehdotuksia vastaan koko projektin ajan vai edetäänkö tahtisuunnitelman mukaisesti, mikäli ehdotus tulee vielä sovittun päivämäärän jälkeen. Pienten käyttäjämuutosten huomioiminen ja toteuttaminen voi onnistua myös saman tahdin aikana, mikäli muutos ei vaikuta koko kerroksen muutokseen. Ohjaustoimenpiteitä muutoksiin esitettiin tapaustutkimuksessa sekä Binneringer et al. (2017) tutkimuksessa. Isoja muutoksia ei voida toteuttaa ilman, että se vaikuttaisi merkittävästi myös tahtituotantoon. Kirjallisuudesta ei löytynyt esimerkkejä, kuinka käyttäjä- tai suunnitelma-muutosten kanssa tulisi toimia tahtisuunnittelussa.

Myös suunnittelun osalta täytyy tehdä strategisia päätöksiä ennen projektin alkua. Sellaisten projektien, joissa rakennetaan samanaikaisesti kuin suunnitelmia tehdään, toteutus ei välttämättä onnistu parhaalla mahdollisella tavalla. Huonoimmassa tapauksessa projektin toteutus epäonnistuu kokonaan. Isoimpina haasteina tämänkaltaisissa tapauksissa pidetään aikataulutavoitteiden saavuttamista. Tilanteen välttämiseksi suunnittelijoiden kanssa sovittava tarkasti menettelytavoista sekä mahdollisista sakoista. Aikataulussa pysymisen helpottamiseksi, tahtiaikataulutuksen käyttöä suositellaan myös suunnittelijoille.

Yksi prosessia tehostavista edellytyksistä on Lean periaatteiden ymmärtäminen, jotka esitettiin aiemmin kirjallisuus luvussa. Tahtituotanto on vain yksi osa Lean ajattelumallista ja mikäli halutaan ymmärtää syvällisesti sekä kokonaisvaltaisesti tahtituotannon prosessi,

on ymmärrettävä myös Lean ajattelua. Projektioorganisaatio on usein hyvin kiireinen päivittäisten työtehtävien parissa, joten lisäresurssi Lean -tuesta olisi tarpeen. Prosessia tehostava edellytys voi olla myös Lean ajattelumallin osaaja, joka voi auttaa tarvittaessa sekä jakaa omaa osaamista/ymmärrystä Lean -ajattelumallista kuten kohteissa 2 ja 3. Lean -insinöörin tai -tukihenkilön olisi hyvä olla projektioorganisaation ulkopuolelta, jonka tehtävänä on antaa tukea ja apua tahtituotannossa tarvittaessa. Mikäli tukihenkilöllä olisi kokemusta useammista tahtiprojekteista, hän voisi antaa ratkaisuehdotuksia, miten eri projekteissa on toimittu ja minkälaisia lopputuloksia ratkaisulla voi saada aikaiseksi. Tukihenkilö auttaisi varsinkin erityisen haastavissa tilanteissa sekä auttaisi ennaltaehkäisemään tilannetta, jossa palataan ”perinteisen rakentamisen tapaan”.

Myös esivalmistettujen taloteknisten ratkaisujen käyttö toimii tehokkaana prosessia tehostavana edellytyksenä. Esivalmistettuja ratkaisuja käytettiin kaikissa kohteissa. Haastatteluissa korostettiin esivalmistettujen ratkaisujen merkittävää hyötyä tahtituotannon onnistumisen ja sujuvuuden kannalta. Esivalmistettujen ratkaisujen käyttöä suositellaan hyödynnettävän enemmän. Myös esivalmistettujen tuotteiden käyttö vaatii suunnitelmallisuutta ja sen ansiosta suunnitelmien on oltava valmiita ennen rakennustöiden aloittamista. Tämä on yksi keino, jonka ansiosta suunnittelijoiden on tehtävä suunnitelmat valmiiksi jo ennen rakentamisen aloittamista.

6.1.2 Tahtisuunnitelma

Kohteen 1 tahtisuunnittelun haasteet ja tässä luvussa esitetyt ratkaisut on koottu taulukoon 7.

Taulukko 7. Tahtisuunnittelun haasteet ja havaitut toimenpiteet haasteille

Haasteet: Kohde 1	Ratkaisut: Kirjallisuus, kohde 2,3 ja asiantuntijat
Aikataulun tiukkuus ja aikataulussa pysyminen	<ul style="list-style-type: none"> - 5 päivän tahti - Vaunujen käyttö, luo joustavuutta - Yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu - Pullonkaulojen tunnistaminen
Työntekijöille asti ei tullut tahdistusta tietoa	<ul style="list-style-type: none"> - Visuaalisesti tahtiaikataulu ja vaunut esillä työmaalla - Urakoitsijan edustajat mukaan työsuunnitteluun
Tahtialuejako epäselvä	<ul style="list-style-type: none"> - Yhteistoiminnallisuus, yhdessä urakoitsijoiden kanssa tehty tahtisuunnitelma
Puskurien ja junien suunnittelu hieman epäselvä	<ul style="list-style-type: none"> - Puskureita suurempien vaiheiden väliin - Illat ja viikonloput puskureita - Junien suunnittelussa: tasaisuus vrt. nopeus
Varamestat	<ul style="list-style-type: none"> - Jättäminen tahdin ulkopuolelle - Suunnitella osaksi tahtia, omilla vaunuilla yhteistoiminnallisesti
Käyttäjäm muutokset / suunnitelmapuutteet	<ul style="list-style-type: none"> - Strateginen päätös, lähdetäänkö näillä tiedoilla toteuttamaan - Esivalmistettujen tuotteiden käyttö - Ohjaustoimenpiteet - Suunnittelijoille toimitettu aikaisessa vaiheessa tahtiaikataulu - Käyttäjäm muutoksille selvä takaraja - Big Room: pääurakoitsijan ja suunnittelijoiden yhteistyö. Helppo kommunikoida, kun samassa tilassa.

Kohteen 1 tahtiaikataulusta huomasi, että tärkeimmät vaiheet oli ymmärretty ja sisäistetty. Ongelmaksi osoittautui vain iterointi ja yhteistoiminnallisuus. Ratu-menekkien mukaan saatiin hyvin määriteltä kaikki työtehtävät ja tahtiaika. Menekkejä ei ole listattu esimerkiksi Yhdysvalloissa, joka vaikeutti siellä laskennallista osuutta tahtisuunnittelussa. Tahtisuunnitelman luonti jäi teoriaan verrattuna hieman keskeneräiseksi, sillä pääurakoitsija ei tehnyt tahtisuunnitelmaa yhdessä urakoitsijoiden kanssa. Kohteessa 1 ymmärrettiin tahtisuunnittelun laskennallinen puoli, mutta ei yhteistoiminnallisuutta. Kohteissa 2 ja 3 ymmärrettiin yhteistoiminnallisuuden tärkeys sekä sen tuomat hyödyt, kun taas käsitys laskennallisuudesta aiheutuvat hyödyt jäivät kohteissa epäselviksi. On tärkeää muistaa, että jokaisen projektin on sovellettava tahtisuunnitelmaa omien tarpeiden sekä projektin ominaisuuksien mukaisesti. Tämän seikan tärkeys korostui tapaustutkimuksissa.

Toteutusmallin tahtiajaksi ehdotetaan viiden päivän mallia. Mallia suositellaan erityisesti sen yksinkertaisen implementoinnin sekä helpon johdonmukaisuuden ansiosta. Viiden päivän tahtiajan malli on todettu toimivaksi sen yksinkertaisuuden ja toimivuuden vuoksi sekä kirjallisuudessa (Frandsen et al., 2013; Frandsen, Berghede & Tommelein, 2013; Kaiser 2013; Linnik et al., 2013; Frandsen ja Tommelein, 2016; Binniger et al., 2017) että tapaustutkimuksissa. Vaikkakin kirjallisuudessa esitettiin myös lyhyempiä tahtiaikoja (Frandsen & Tommelein, 2014; Heinonen & Seppänen, 2016). Kyseinen malli on tarpeeksi joustava aikataulun suhteen, mutta mahdollistaa samalla tahtiin pääsemisen. Lisäksi mallin ansiosta on myös helpompi hallita kokonaisuutta eikä tahtituotannon käytöstä luovuta niin helposti. Viiden päivän tahdilla saadaan toistuvuutta, jotta kaikki oikeasti ymmärtävät tahtisuunnitelmaa. On tärkeää ymmärtää minä päivinä pitää työtehtävien olla valmiita sekä milloin tarkastukset pidetään. Näin ollen saadaan luotua rutiineja ja tasaisuutta tuotantoon. Haasteeksi viiden päivän tahdissa voi nousta työpakettien järkevä suunnittelu lyhyempikestoisissa projekteissa. Haastetta on käsiteltävä yhdessä työpajassa ja varmistua viiden päivän tahtiajan toimivuudesta käytännössä lyhyempikestoisissa projekteissa. Laskennallisesti voidaan laskea työpakettien tai vaunujen määrä rakennusajan kokonaiskestosta viikoissa ja suhteuttaa kerroksien määrään.

Tahtisuunnitelman menetelmäksi ehdotetaan toteutusmallissa mukailtua Kalifornialaista menetelmää eli Frandsen et al. (2013) ja Tommelein (2017) mallia. Kalifornian menetelmä on yhteistoiminnallinen, jossa työsuunnittelu tehdään yhdessä urakoitsijoiden kanssa. Yhteistoiminnallisuutta ehdotettiin myös useassa tutkimuksessa (Frandsen et al., 2013; Linnik et al., 2013 ja Tommelein, 2017). Tahtisuunnittelun aloitus pitää tehdä hyvissä ajoin ennen rakennustöiden aloittamista. Tämä eroaa paljon perinteisestä tavasta, jolloin urakoitsija on valittu ja aloittaa useimmiten jo seuraavalla viikolla työnteon. Työpajassa on tarkoitus selvittää mikä on toteutuksen kannalta paras mahdollinen tapa. Toteutusmallissa pyritään tahtisuunnittelun aloittamiseen 2-6 kuukautta ennen varsinaisten töiden aloitusta. Vaihteluväli riippuu projektin koosta. Kirjallisuudessa ei ole esitetty, kuinka paljon tahtisuunnittelulle olisi hyvä varata aikaa. Esille nostettiin kuitenkin tärkeys tahdin säätäminen tarkalle tasolla (Binniger et al., 2017). Mitä tarkemmaksi halutaan tahtisuunnitelma tehdä, sitä enemmän se vie aikaa.

Kohteessa 1 onnistuttiin laskemaan tahtiaika menekkien avulla. Tämä on toimiva tapa aloittaa tahtisuunnittelu, jolloin pääurakoitsija saa alustavan käsityksen työn määrästä. Työn määrää voi jaotella kerroksittain ja tehdä alustavia tahtialuejakoja. Pääurakoitsijan omat laskelmat toimivat hyvin tukena alustavan tahtiaikataulun teossa. Alustava tahtiaikataulu helpottaa esittämään tahtituotantoa urakoitsijoille hankintavaiheessa. Monille urakoitsijoille tahtituotanto on uusi prosessi, joten tarvitaan prosessia tukevia laskelmia

antamaan pohjaa ja suuntaa, järkevöittämään yhteistoiminnallista tahtisuunnittelua. Alustava tahtisuunnitelma auttaa luomaan käsitystä kokonaisuudesta myös suunnittelijoille, mutta vasta yhteistoiminnallisen tahtisuunnittelun jälkeen voidaan muodostaa toimivampi ja käytännönläheisempi tahtisuunnitelma. Laskennallisuus onkin tarkoitus ottaa toteutusmalliin osaksi lähtötietoja.

Ensimmäiseen vaiheeseen kuuluu Kalifornian mallin mukaan urakoitsijoiden ottaminen mukaan selvittämään, mitä töitä täytyy tehdä milläkin alueella. Kirjallisuudessa (Frandon et al., 2013) sekä tapaustutkimuksissa huomattiin ensimmäisen vaiheen yhteistyön merkityksen vaikutukset esimerkiksi tahtituotantoprosessiin sitouttamisen kannalta. Urakoitsijoilla on kokemuspohjaista tietoa, kuinka paljon on mahdollista toteuttaa tahdissa. Kalifornialaisen mallin mukaan tämä voidaan tehdä piirtämällä suunnitelma pohjakuviin ja antamalla jokaiselle urakoitsijalle esimerkiksi oma tunnusvärinsä. On erittäin tärkeää esittää urakoitsijoille kysymyksiä, sillä he eivät välttämättä aina tiedä, mitä heidän odotetaan tekevän. Piirtämisen jälkeen voidaan selvittää kaikkien urakoitsijoiden ehdotusten perusteella tahtialueet. Tässä vaiheessa tiedetään tahtiaika ja määrät, mitä urakoitsijat pystyvät toteuttaa heille annetussa aikataulussa.

Tahtialuejaossa on tärkeää huomata pullonkaulaurakoitsijat. Aluejako tulisi tehdä pullonkaulaurakoitsijan mukaan. Tärkeää on myös muistaa, ettei alueiden tarvitse olla samankokoisia, vaan jako menee urakoitsijoiden työn eli työtiheyden mukaan, kuten myös (Tommelein, 2017) esittää. Tahtialueita ei pidä suunnitella aikataulullisesti liian tiukoiksi, jottei tehdä työn valmiiksi saattamisesta ajallaan liian vaikeaa. Vaihtelevuuden takia ei tahtialueet pidä olla liian pieniä. Tähän liittyy myös osapuolten luotto tahtiin ja aluksi onkin parempi aloittaa isommilla alueilla. Tärkeää on varmistaa alueiden koko sopivaksi ja varmistua kaikkien yhteisellä hyväksynnällä.

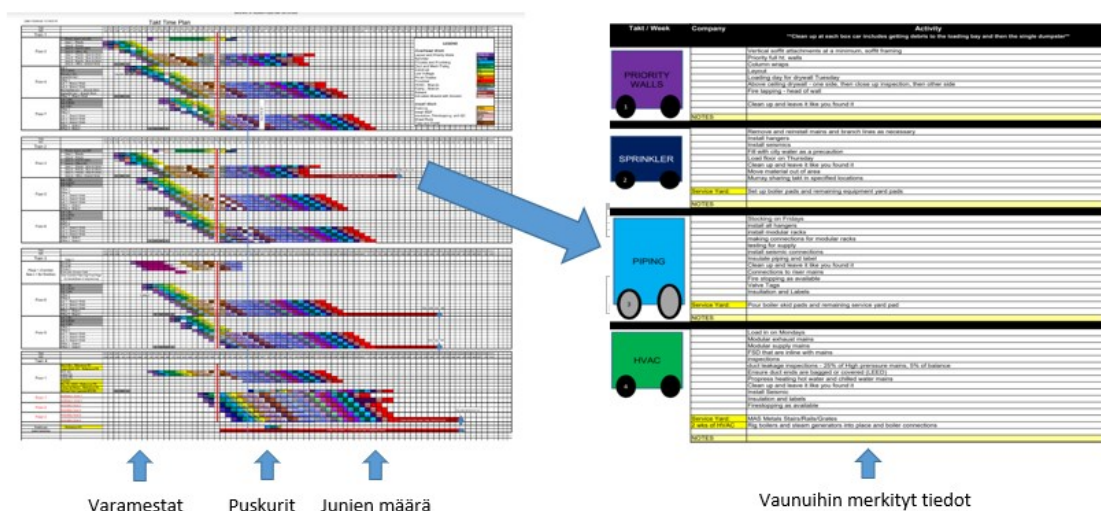
Kolmas vaihe eli työjärjestysten luominen tehdään yhdessä urakoitsijoiden kanssa imuohjaussuunnittelulla esim. Last Planner. On todennäköistä, että työjärjestys tulee myöhemmässä vaiheessa vielä mahdollisesti muuttumaan, mutta tämän vaiheen tarkoituksen on varmistua, ettei isoja muutoksia näiden tapaamisten jälkeen enää tulisi. Työjärjestys vaihtelee myös projekteittain, joten pohjaa järjestykselle voi olla vaikeaa luoda, joka toimisi kaikissa erityyppisissä projekteissa. Työjärjestyksen jatkuva korjaaminen ja kehittäminen ovat hyvin tärkeitä osia jokaisen vaiheen onnistumiselle, sillä jatkuva kehittäminen mahdollistaa seuraavan vaiheen onnistumisen.

Neljännessä vaiheessa tasapainotetaan työvirtaus. Tämän vaiheen onnistumisen kannalta on erittäin tärkeää kokoaikaisen virtauksen ylläpito ja varmistua siitä, ettei työtehtävistä aiheutuvia pysähdyksiä tulisi. Varmistetaan, ettei yhdellä alueella ole samanaikaisesti useampia toisiinsa vaikuttavia työtehtäviä. Virtausta on ylläpidettävä koko projektin ajan. Tässä vaiheessa on erityisen tärkeää havaita pullonkaulaurakoitsijat sekä urakoitsijat, joiden työtahti on selvästi nopeampaa kuin muilla.

Viides vaihe on työvaiheiden keston määrittäminen. Ennen 6 askeleen suunnittelua on tahtiaika jo sovittu. Näin ollen tässä vaiheessa olisi hyvä tarkistaa työjärjestys sekä varmistaa, että työt saadaan tahtiajassa tehtyä. Vaunujen luonti tapahtuu myös tässä vaiheessa. Vaunujen teosta enemmän seuraavassa kappaleessa. Vaunujen kohdalla tulee tarkistaa, että yksittäisen vaunun sisältämät työt eivät ylitä tahtiaikaa.

Mallin viimeinen vaihe on tuotantos suunnitelman luonti, jonka avulla projektin toteutus tapahtuu. Viimeisen vaiheen lopputuloksena on toteutuskelpoinen tahtiaikataulu. Jokaista

vaihetta on tarkoitus iteroida niin monta kertaa, kunnes saadaan tehokas ja toimiva tahtisuunnitelma. Parhaan lopputuloksen saannin kannalta on tärkeää kokeilla erilaisia vaihtoehtoja. Toimiva lopputulos voi syntyä vasta monen kokeilukierroksen jälkeen. Viimeisen vaiheen lopputulos on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Tahtiaikataulun luonnin lopputulos

Kohteissa 2 ja 3 tahtiaikataulu on rakennettu toimivalla tavalla. Kolmiosaisessa aikataulutuksessa käytetään pohjana yleisaikataulua, jonka perusteella tehdään tahtiaikataulu. Tavoitteiden tulee olla yleis- ja tahtiaikataulussa linjassa. Tahtiaikataulu tarkennetaan yksittäisillä vaunuilla. Tapauskohteissa korostui onnistumisen kannalta tärkeänä ominaisuutena tahtiaikataulun joustavuus. Tahtiaikataulun joustavuuteen vaikuttaa vaunujen käyttö ja varsinkin vaunujen sisällä olevien työtehtävien jako. Vaunujen sisältämät työtehtävät selvitetään ja määritetään tahtisuunnittelun aikana. Tahtiaikataulun joustavuuteen vaikuttaa mahdollisuus muuttaa työtehtävien järjestystä vaunujen sisällä. Työjärjestyksen muuttaminen tapahtuu esimerkiksi urakoitsijalavereissa esille nousseiden asioiden pohjalta. Vaunuihin kirjataan kaikki työtehtävät, jotka tulee suorittaa tietyssä tahdissa. Mikäli viimeistelyvaunuja käytetään samalla tavalla kuin kohteessa 2, tulee viimeistelyvaunuihin merkitä tahtialueet ja jokaisen osa-alueen työtehtävät erikseen. Jokainen projektiorganisaatio päättää projektin kannalta tärkeimmät seikat, jotka kirjataan vaunuihin. Esimerkiksi kohteessa 3 oli vaunuihin lisätty erikseen varmista/selvitä otsikolla asioita, jotka on selvítettävä tai otettava huomioon ennen tahdin aloittamista. Kohteessa 3 oli myös jaoteltu vaunujen työt primääri- ja sekundääritöihin. Kirjallisuudessa on myös esitetty tahdivaunujen käyttöä omana vaiheenaan tahtisuunnittelussa. (Dlouhy et al., 2016).

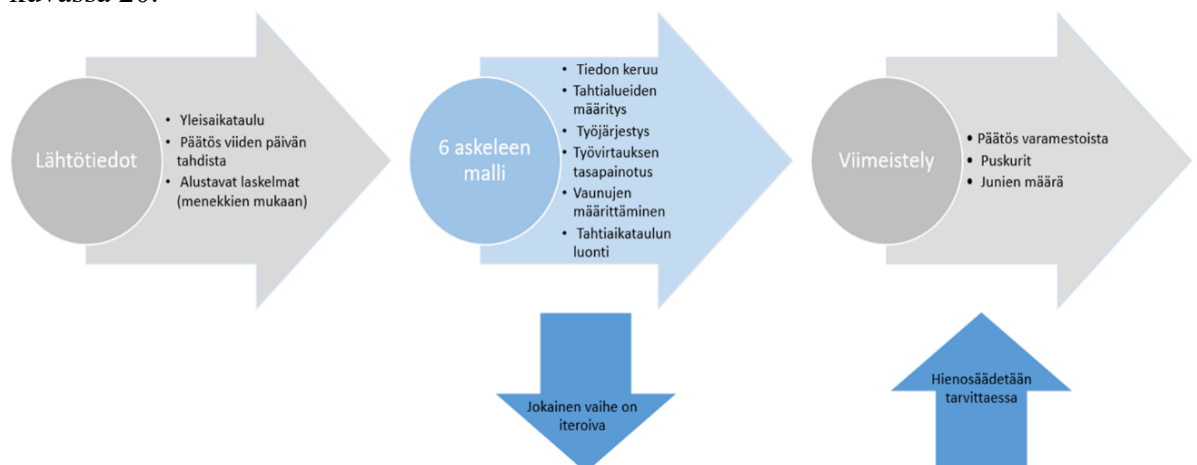
Tahtiaikataulu toimii työvaiheikatauluna ja jokaiselle rakennusvaiheikataululle (kuten runko, julkisivu, vesikatto ja sisävalmistustyöt) tulee tehdä oma erillinen tahtiaikataulunsa. Varamestojen aikataulutuksessa nousi haastateltavien keskuudessa toisistaan poikkeavia mielipiteitä. Osa haastateltavista oli sitä mieltä, että varamestat tulisi jättää tahtiaikataulun ulkopuolelle ja osa taas sitä mieltä, ettei varamestojen tulisi ollenkaan käyttää. Sellaisissa projekteissa, joissa tahtituotanto on uusi prosessi, on todennäköisesti helpompi jättää pois tahtiaikataulusta tilat, jossa käytetään eri työjärjestystä kuin muualla pääsääntöisesti. Tällaisia tiloja ovat tekniikkakuilut, hissiaulat ja tekniset tilat. Varamestojen voidaan hyödyntää projektin alussa, sillä vaihtelua tai ylikapasiteettia voidaan siirtää tarvittaessa varamestoilta. Varamestojen käyttöä sekä sen mahdollista hyödyntämistä selvitetään lisää työpajassa. Tommelein (2017) kuitenkin ehdottaa varamestojen käyttöä tahtisuunnittelussa. Frandson et al. (2014) esittää varamestojen käyttöä puskurina. Frandson et

al. (2015) taas esittää, että varamestojen työt voi jättää kokonaan tahdin ulkopuolelle. Tahtiaikataulun visualisointia pidettiin myös tärkeänä tiedon jakamiselle. Näin koettiin myös kirjallisuudessa (Frandsen & Tommelein, 2014; Dlouhy et al., 2017).

Junien määrää täytyy tarkastella projektikohtaisesti. Määrään vaikuttaa varsinkin projektin aikataulu ja sen mahdollinen tiukkuus. Lähtökohtaisesti suositellaan yhtä junaä yhtä työvaihetta kohden (esimerkiksi sisävalmistusvaiheelle yksi, runkovaiheelle yksi jne.), sillä yhdellä junalla töiden määrää sekä tasaisuutta on helpompi ennakoita ja koko tuotannon saa yhteiseen virtaukseen. Yhtä junaä per työvaihe esitettiin myös tapaustutkimuksessa (Frandsen & Tommelein, 2016). Useampi juna suositellaan otettavan käyttöön, jos projektin aikataulu on tiukka tai projektin aikataulua joudutaan lyhentämään tiukan kilpailutilanteen vuoksi. Lisäksi junien määrään vaikuttaa varamestojen käyttö. Mikäli projektissa käytetään varamestoja ja ne halutaan sisällyttää myös tahtiaikatauluun, tulee varamestoilta määrittellä oma erillinen juna. Mikäli tahtiaikataulu pitää sisällään monta eri junaä, on haasteena päästä tahtiin useammassa paikassa, jolloin kokonaisuutta on vaikea hallita. Asiantuntijahaastattelussa painotettiin junien määrän valintaan vaikuttavia seikkoja. Useammalla junalla saadaan nopeutta, mutta tasaisuus heikkenee. Useamman junan käyttöä tulisi harkita tilanteissa, joissa projektissa on erilaisia työjärjestyksiä eri alueilla.

Projektissa tulisi käyttää myös erilaisia puskureita eri tilanteissa. Projektioorganisaation tehtävä olisi löytää projektin kannalta kriittisimmät työvaiheet, joiden väliin puskureita kannattaisi sijoittaa. Aikataulullisina puskureina tulisi käyttää iltoja sekä viikonloppuja ja strategisia puskureita tulisi sijoittaa suurempien työvaiheiden väliin. Taloteknisten runkolinjojen ja seinien rakentamisen väliin voisi sijoittaa viikon puskurin kasvattamalla runkolinjojen viimeistä vaunua esimerkiksi 2 tahdin pituiseksi. Puskurin ei välttämättä tarvitse olla tyhjä laatikko, vaan edellistä työtä voi venyttää kahden tahdin pituiseksi. Annettulla aikataululla on selvä vaikutus voiko tällaista puskurointia edes tehdä. Myös Haghsheeno et al. (2016) esittää viikonloppua kiinteänä puskurina.

Tämän luvun yhteenvedona esitetään tahtisuunnittelun toteutusmalli pähkinänkuoressa kuvassa 20.



Kuva 20. Toteutusmallin tahtisuunnittelun prosessi

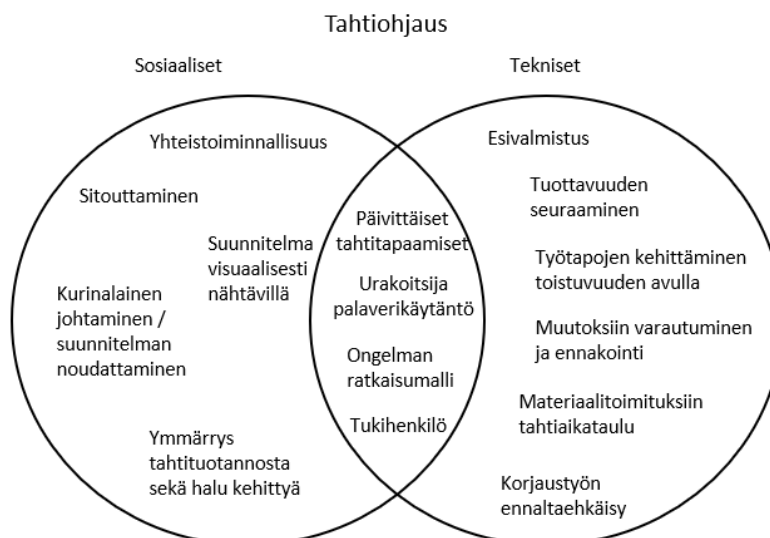
6.1.3 Tahtiohjaus

Tahtiohjauksen kannalta kohteissa 2 ja 3 ei ollut havaittavissa tiettyä prosessia. Kohteiden työnjohtoon mukaan jokainen toteuttaa tahtiohjausta omalla tavallaan eikä prosessi ole

välttämättä suunnitelmallinen. Kohteiden prosesseissa oli kuitenkin käytetty tiettyjä tahtiohjauksen apuvälineitä. Kohteen 1 tahtiohjausta ei voida sellaisenaan soveltaa toteutusmalliin soveltuvaksi, vaan tahtiohjauksen osalta täytyy laatia uusi ohjeistus. Tahtiohjauksen voi jakaa sosiaaliseen ja tekniseen ohjaukseen. Kuvassa 21 on esitetty tämä jako. Näitä apuvälineitä käydään tarkemmin läpi tässä luvussa. Taulukossa 8 on yhteenveto havaituista haasteista kohteessa 1 ja tutkimuksessa havaitut ratkaisut näihin haasteisiin.

Taulukko 8. Tahtiohjauksen haasteet ja havaitut ratkaisut

Haasteet: Kohde 1	Ratkaisut: Kirjallisuus, kohde 2,3 ja asiantuntijat
Oman organisaation ymmärrys	<ul style="list-style-type: none"> - Lean- ja tuotantoinsinöörien tuki - Koulutus kaikille osallisille - Tahtisuunnitteluun osallistuminen - Urakoitsijapalaverit
Materiaalihankinta	<ul style="list-style-type: none"> - Materiaalitoimituksen aikataulu - Urakoitsijoille tahtiaikataulu, jolloin näkee selvästi, milloin tarvitsee mitäkin - Työmaalla ei pitkäaikaisvarastointia
Alueiden luovutus tai vastaanotto hankalaa (tahtiajassa)	<ul style="list-style-type: none"> - 5 päivän tahti - Selvä jokaviikkoinen rutiini - Alueen luovutuksen pitäminen torstaina, jolloin virheitä voi vielä korjata perjantaina - Yhteisymmärrys (PU ja AU) tahtituotannosta, urakoitsijan sitouttaminen
Ei päästä 100 prosentin toteumaan	<ul style="list-style-type: none"> - Kurinalainen johtaminen. Ei anneta lipsua tahdist - Sitoutettiin osapuolet yhdessä tekemään yhteistä päämäärää kohti - Puskurit: illat ja viikonloppu - Pienien töiden loppuunsaattaminen maanantaina. Seuraava ryhmä aloittaa toisesta päästä huonetta, tilaa kuitenkin on alussa. - Ohjaustoimenpiteet
Varamest	<ul style="list-style-type: none"> - Varamestojen työt olivat sellaisia, johon siirrettiin esimerkiksi ylikapasiteetin takia - Työt olivat yleensä yhden tai kahden työryhmän tehtäviä, kuten tekniset tilat, jolloin saatiin yhteensovitettua pienemmällä ryhmällä
Työn tasaisuus	<ul style="list-style-type: none"> - Yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu - 5 päivän tahti ja vaunujen käyttö - Urakoitsijapalaverit - Kurinalainen johtaminen - Esivalmistetut tuotteet - Ohjaustoimenpiteet
Tuottavuuden seuraaminen	<ul style="list-style-type: none"> - Esitetty tuottavuuden seuraamismalli



Kuva 21. Tahtiohjaus jaoteltuna sosiaalisiin ja teknisiin osioihin.

Kirjallisuudessa on osoitettu tahtiohjauksen onnistumisen kannalta kriittiseksi tekijäksi lyhytsyklinen työnohjaus, jonka on oltava luonnollisesti lyhyempi kuin tahtiajan. (Frandsen et al., 2015; Haghsheno et al., 2016; Binnering et al., 2017) Tahtiohjauksessa lyhyen syklin käyttöä varten kannattaa hyödyntää vaunujen antamia tietoja tarkemmista työtehtävistä, jotka tukevat ja helpottavat työnohjausta. Lisäksi on varmistuttava siitä, että urakoitsijat pysyvät annetussa tahdissa. Projektissa esiintyy vähemmän korjaustyötarpeita, mikäli sykli on toimiva ja urakoitsijat pysyvät aikataulussa. Tahtituotantosuunnitelman ansiosta pääurakoitsijan tai urakoitsijoiden ei myöskään tarvitse ohjata työntekijöitään yhtä paljon, koska suunnitelma ja aikataulu koko prosessista on jatkuvasti kaikkien nähtävillä. Tämä taas mahdollistaa resurssien keskittämisen ongelmien selvittämiseen tarpeeksi ajoissa sekä tulevien ongelmatilanteiden ennakkoinnin. Tahtiohjaus varten oli myös hyvä tiedostaa tiettyjä ohjaustoimenpiteitä. Binnering et al. (2017) osoittamia ohjaustoimenpiteitä tulisi käydä työmaalla läpi ja selvittää mahdollisia tilanteita, joissa niitä voisi käyttää tilanteen tullen. Yhtenä ohjaustoimenpiteenä esitettiin junan pysäytystä, joka aiheuttikin ristiriitaisia mielipiteitä eikä sitä ollut käytetty kummassakaan tapauskohteessa.

Kirjallisuudessa nousee usein myös esille eri osapuolten sitouttamisen tärkeys. (Frandsen et al., 2013; Frandsen et al., 2014) Kohteessa 1 sitouttamista ei pidetty haasteena, mutta kohteen tahtiohjauksen kannalta olisi tärkeää sitouttaa eri osapuolia tahtituotantoon entisestään. Varsinkin haasteiden ilmetessä sitoutuneisuus auttaa jatkamaan projektia tahtituotannon toimintamallin mukaisesti eikä siirtyä niin helposti perinteisen toteutuksen toimintamalliin. Sitoutuneisuutta lisääkin yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu, sillä urakoitsijat ovat olleet alusta asti vaikuttamassa ja päättämässä projektin kulusta. Lisäksi tahtituotannon onnistumisen kannalta nähdään tärkeänä tekijänä myös nopea päätöksenteko. Big Room käytäntöä voidaan hyödyntää tahtiohjauksessa päätöksenteon nopeuttamisen kannalta, jolloin eri osapuolet pääsevät keskustelemaan ja päättämään asioista yhdessä samanaikaisesti. Big Room käytäntö voi kuitenkin olla pienemmissä kohteissa haastavaa, sillä osapuolilla voi olla myös muita projekteja. Sitouttamisen onnistumisen kannalta on tärkeää ymmärtää koko prosessi ja tätä pidettiin haasteena kohteessa 1. Mikäli pääurakoitsijan organisaatio ei ymmärrä kokonaisvaltaisesti koko prosessia, prosessin eteenpäin vieminen voi koitua haasteeksi urakoitsijoille.

Tärkeää on siis jakaa osaamista ja ymmärrystä tuotantoprosessista kaikille osapuolille. Jotta osaamista ja ymmärrystä voidaan siirtää tehokkaasti eteenpäin eri osapuolille, urakoitsijoiden on ymmärrettävä työsuunnitelma hyvin jo ennen töiden varsinaista alkamista.

Tahtiohjaus vaatii kurinalaista johtamista työnjohtajien puolelta. Työtä on ohjattava tahtisuunnitelman mukaisesti, koska suunnitelmasta useasti poikkeaminen johtaa usein siihen, ettei tahtituotantoa haluta käyttää. Prosessi on uusi, joten suunnitelmassa pysymistä pidetään erittäin tärkeänä seikkana onnistumisen kannalta. Urakoitsijoilta täytyy vaatia kiinnostusta sekä halua ymmärtää tuotantoprosessia. Kohteissa 2 ja 3 tehdyt urakoitsija-haastattelut osoittivat sen, että heillä on aitoa kiinnostusta kehittyä ja kehittää prosessi toimivaksi.

Toimivuuden kannalta on tärkeää jättää aikatauluun joustovaraa, jotta ongelmat ehditään ratkaisemaan ajoissa. Tahtisuunnitelman ymmärryksen saattamisessa työmaalle asti tulee tahtiaikataulut ja -vaunut viedä kaikkien nähtäväksi työmaatauluille. Ymmärryksen kasvattamista pyritään lisäämään myös päivittäisillä tahtitapaamisilla. Päivittäisiä tahtitapaamisia tukee myös kirjallisuus, jossa on tarkemmin esitetty, kuinka tahtitapaamiset tulisi järjestää (Haghsheno et al., 2016; Dlouhy et al., 2016). Lisäksi päivittäiset tahtitapaamiset ohjaavat lyhytsykliseen johtamiseen (Haghsheno et al., 2016). Jokaisen urakoitsijan edustama työnjohtaja tai nokkamies käyvät pääurakoitsijan edustajan kanssa yhdessä läpi päivän mahdolliset haasteet sekä muut selvitettävät asiat. Nämä ongelmat tulee viedä eteenpäin työryhmien tietoon.

Kohteissa 2 ja 3 oli käytössä ongelmanratkaisumalli, jolla sitoutettiin oma organisaatio, tilaaja ja suunnittelijat nopeaan päätöksentekoon ongelmatilanteissa. Ongelmanratkaisumalli on esitetty kuvassa 16. Mallin ideana on ratkaista ongelma saman päivän aikana työmaalla, mutta kuvassa on avattu mallin muitakin seikkoja tarkemmin. Mikäli ongelmaa ei saada selvitettyä saman päivän aikana heti työmaalla, ongelma pitäisi ratkaista viimeistään seuraavana aamuna yhdessä suunnittelijoiden sekä muiden vastuuhenkilöiden kesken. Ongelmanratkaisumalli vaatii siihen sitoutumista kaikkien osapuolten kesken.

Haastatteluissa nousi esille esivalmistettujen tuotteiden käytön helppous sekä toimivuus kaikkien kohteiden osalta. Toteutusmallissa tulisi lisätä esivalmistettujen tuotteiden hyödyntämistä. Esivalmistettujen tuotteiden käytöllä on suora yhteys tehokkaampaan suunnitteluun, sillä näiden tuotteiden käytöstä ja suunnittelusta on sovittava hyvissä ajoin ennen töiden aloittamista. Kohteissa 2 ja 3 esivalmistettujen tuotteiden käyttö tukee viiden päivän tahtia erityisesti talotekniikan osalta.

Työtahdin seuranta voidaan toteuttaa yksinkertaisesti laskemalla työtunnit per alue per viikko. Urakoitsijat ilmoittavat vähintään viikoittain määrät tehdystä työstä, joita verrataan tahtisuunnitelmassa oleviin määriin. Tällä toimintatavalla voidaan tarvittaessa tehostaa työskentelyä seuraavalla tahtialueella sekä ennakoida tahtiin pääsemistä seuraavilla alueilla tai kerroksissa. Mikäli riittävää tuotantonopeutta ei ole, tulisi ratkaisut etsiä jo aikaisessa vaiheessa. Seuranta helpottaa kaikkia osapuolia ymmärtämään tilanteen, jolloin ratkaisua voidaan yhdessä pohtia. Kirjallisuudessa esitetään digitaalisia työkaluja seurantatyökaluksi työnohjaukselle, jolloin seuranta olisi toistuvampaa ja mahdollisesti myös reaaliaikaisempaa (Emdanat et al., 2016; Olivieri et al., 2017).

Tahtiohjauksen tarkoituksena on varmistaa, että jokaiseen tahtiin päästään ja työt ovat tahdin loputtua täysin valmiit. Tähän asetelmaan pääseminen vaatii paljon eivätkä kohteet 2 ja 3 päässeet haluttuun lopputulokseen. Tärkeintä on kuitenkin jatkuva kehitys. Usein ensimmäinen kerros sekä ensimmäinen tahti ovat harjoittelukierroksia ja niiden kehittämiseen olisi tärkeää resursoida tarpeeksi aikaa. Lisäksi on osattava varautua mahdollisiin muutoksiin. Mikäli on kaksi peräkkäistä tahtia, joissa työt ovat vähäisiä ja mahdollisesti jopa saman urakoitsijan toteuttamia, voidaan nämä kaksi tahtia sulauttaa yhdeksi kahden

viikon tahdiksi. Tämä on mahdollista ainoastaan, jos kumpaan työtä voidaan samalla alueella tehdä samanaikaisesti. Esimerkiksi jakamalla tahtivaunut primääri- ja sekundäritöihin, jolloin sekundäritöiden ohella voi mahdollisesti tehdä muitakin töitä. Tahtisuunnitelmaa on tarkoitus noudattaa tarkasti. Tahtisuunnitelmaa voidaan kuitenkin tarpeen tullessa muokata mahdollisten pienten muutosten osalta esimerkiksi ohjaustoimenpiteillä, kuten kirjallisuudessa esitettiin.

Korjaustyön minimointi nousi haasteeksi kaikissa tutkittavissa kohteissa, vaikka tahtituotannon pitäisi johtaa virheettömään lopputulokseen. Kirjallisuudessa esitettiin, että korjaustyöt tulee tunnistaa riskinä ja sille tulee kehittää toimintatapoja (Emdanat et al., 2016). Korjaustyötä voidaan ennaltaehkäistä nopealla reagoinnilla sekä varmistamalla, että tahdissa päästään tavoitteisiin. Mikäli korjaustöitä ilmenee, korjauksiin voidaan käyttää resursseja viikonloppuisin sekä arkisin ylitöinä. Kohteessa 3 korjaustyöt oli ajateltu sisällytettävän jo osaksi vaunuprosessia, joka luo jo itsessään pientä puskuria. Toisaalta tämä muodostaa hukka-aikaa ja tarkoitus on työpajassa selvittää tämän toimenpiteen aiheuttamat hyödyt ja haitat sekä toimivuus. Urakoitsijan on aina kirjattava joko paperille tai mahdollisesti johonkin sähköiseen järjestelmään tai applikaatioon kaikki tekemättömät työt. Lisäksi on huomioitava, että varamestojen käyttö voi aiheuttaa lisää korjaustöitä. Pienet korjaukset eivät aina ole tahdin kannalta kriittisiä, koska seuraava urakoitsija ei välttämättä tarvitse koko tilaa. Tämä oletamus voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia, sillä koko prosessin tarkoitus on estää tämänkaltaisen tilanteen synty. Tilanteen mahdollisuus on kuitenkin tiedostettava sekä ymmärrettävä.

Tahtituotannon ansiosta materiaaliliikenne oli koettu osittain toimivaksi kohteessa 1. Materiaaliliikenteen toimivuus näkyi erityisesti työkalujen hakemisen sekä siirtämisen tarpeen vähentymisessä. Materiaalihankinta koettiin kohteessa 1 haasteelliseksi. Kohteessa 2 oli tehty tahtiaikataulu myös materiaalien hankinnalle. Tahtiaikataulu tukeekin materiaalihankinnan suunnittelua, sillä aikataulun myötä kasvaa ymmärrys, mitä materiaalia tarvitaan, kuinka paljon sitä tarvitaan ja milloin materiaalia tarvitaan. On huomioitava, että myös junien määrä vaikuttaa materiaalien aikatauluttamiseen. Mitä enemmän tahtiaikataulussa käytetään junia, sitä enemmän tarvitaan materiaalitoimituksia työmaalle. Kohteissa 2 ja 3 urakoitsijoiden ei sallita materiaalien varastointi työmaalla. Työmaalla on lupa säilyttää ainoastaan asennukseen meneviä materiaaleja. Ratkaisua pidetään erittäin toimivana, mutta voi koitua haasteeksi Suomessa suurten urakoitsijoihin kohdistuneen muutosten takia. Työpajan tarkoitus on selvittää mahdollisuutta väliavarastoinnin osalta. Materiaalien haalaukset voidaan suunnitella etukäteen työjärjestys ja tahtialueiden avulla.

Toteutusmalliin ehdotetaan urakoitsijapalaverikäytännöksi samantapaista käytäntöä kuin kohteessa 2. Kohteen 2 urakoitsijapalaverikäytäntö on avattu tarkemmin urakoitsijapalaverikappaleissa. Ensimmäinen käydään läpi työturvallisuus- ja ympäristöasiat. Sen jälkeen käydään läpi tahtiaikataulun kyseisen viikon sekä seuraavan viikon työtehtävät. Palaverissa pitäisi käydä asioita läpi tahtimaisesti. Palaverissa on tarkoitus käsitellä ensiksi yksi juna kerrallaan, jonka jälkeen siirrytään tahtialueiden kautta tahteihin ja niihin kuuluviin vauuihin. Urakoitsijapalaverin tarkoitus on käsitellä työmaatilannetta tahtikohtaisesti eikä urakoitsijakohtaisesti, jolloin urakoitsijoiden asioihin palataan useamman kerran. Kaikkien palaveriin osallistuvien pitää olla ajan tasalla palaverin kulusta, joka taas lisää jokaisen osapuolen ymmärrystä kokonaisuudesta. Urakoitsijapalaverissa tulleet muutokset kirjataan suoraan ylös vauuihin sekä muistioon ja mahdollisesti pohjakuviin kommentein. Urakoitsijapalaverikäytäntöä varten ei kirjallisuudessa ole esitetty tiettyä prosessia.

6.2 Työpaja

Työpajan tavoitteena oli selvittää osallistujilta, voisiko aiemmassa luvussa esitettyä toteutusmallia käyttää ja olisiko siitä hyötyä. Suurin osa työpajaan osallistuneista olivat mukana kohteessa 1, joten haluttiin validointia voisiko toteutusmalli mahdollistaa seuraavan kohteen rakentamisen tahtituotannolla. Toteutusmallin eri osa-alueisiin haetaan myös muita näkökulmia, jolla toteutusmallia voi kehittää entisestään ja sopivammaksi kokemusten perusteella.

Työpajan pitämiselle oli varattu aikaa yhteensä kaksi ja puoli tuntia. Työpaja aloitettiin aiheen esittelyllä. Sen jälkeen käytiin läpi avoimia asioita, kysymyksiä sekä avointa keskustelua aiheesta. Työpajaan osallistuneet henkilöt sekä heidän tehtävänimikkeensä on esitelty taulukossa 9. Työpajassa pidettiin esitelmä tutkimuksen tuloksista ja esitettiin toteutusmallia. Työpaja toteutettiin siten, että esityksen aikana käytiin avointa keskustelua, mikäli osallistujille heräsi aiheeseen liittyviä kysymyksiä tai haluttiin esittää omia mielipiteitään aiheesta. Esityksessä esitetyt asiat herättivät paljon keskustelua ja varattu aika ei riittänyt kaikkien asioiden läpikäymiseen. Aiheen ajankohtaisuus ja yrityksen halu kehittää tahtituotantoa oli selvästi havaittavissa. Työpajaa pidettiin onnistuneena ja yrityksellä onkin tarkoitus lähteä kehittämään tahtituotantoa eteenpäin. Osallistuneilla oli aidosti halua ymmärtää sekä kehittää tahtituotantomallia. Tämä onkin yksi tärkeimmistä tekijöistä, joka vaikuttaa tahtituotannon käyttöönoton onnistumiseen. Seuraavassa luvussa käydään läpi työpajassa esille nousseita ehdotuksia toteutusmallin päivittämisen osalta sekä validoidaan kehitettyä toteutusmallia soveltuvammaksi.

Taulukko 9. Työpajaan osallistuneet

Tehtävänimike	Projekti
Työmaapäällikkö	Kohde 1
Työmaainsinööri	Kohde 1
Projektipäällikkö	Kohde 1
LVI-työnjohtaja	Kohde 1
Talotekniikka päällikkö	Kohde 1
Suunnittelupäällikkö	Kohde 1
Kehitysjohtaja	
Kehityspäällikkö	
Projekti-insinööri	

6.3 Toteutusmallin validointi

Työpajaan osallistuneiden mielestä toteutusmallilla saataisiin lisää hyötyä sekä tehokkuutta tahtituotantoprojekteihin. Työpajassa käsiteltyjen aiheiden lisäksi nousi esille hankinnan ja sopimusten tärkeys tahtituotantoprosessin tukemisessa. Mikäli hankinnat ja sopimukset eivät tue tahtituotantoprosessia, voi olla mahdotonta päästä toteuttamaan projektia tahtisuunnitelman mukaisesti. Hankekehitysvaiheessa tulisi jo painottaa vahvasti tahtituotannon merkitystä osana tuotantostrategiaa. Lisäksi toteutusmalli herätti ajatuksia tahtituotannon osaamisen kehittämisen osalta. Osallistujien mielestä yrityksen pitäisi järjestää omia tahtituotantokoulutuksia. Onkin erittäin tärkeää, että omassa organisaatiossa

on riittävä osaaminen ja ymmärrys tahtituotantoprosessista ennen kuin voidaan onnistuneesti kouluttaa yhteistyökumppaneita.

Tarkoituksena olisi hyödyntää tahtituotantoprosessia yrityksessä jatkossa enemmän, sillä tahtituotantoa pidettiin yleisesti selkeyttävänä ja seuranta parantavana toimintamallina. työpajassa painotettiin parempaa perehtymistä tahtituotantoprosessiin, jotta olisi mahdollista onnistua tahtituotantokohteissa. Kohteen 1 seuraavan samantyyppisen toimistotilarakennuksen rakentamisessa onkin tarkoitus implementoida tahtituotannon oppeja. Kyseisessä projektissa käytettäisiin tätä toteutusmallia pohjana. Toteutusmalliin tehtäisiin pieniä muutoksia, jotta malli olisi soveltuva juuri siihen projektiin. Tämän toteutusmallin tarkoituksena olikin luoda toteutusmallipohja, jota projektit voisivat muokata omien toiveiden, tarpeiden sekä vaatimusten mukaisesti.

6.3.1 Edellytykset

Tahtituotannon edellytyksiä pidettiin pääosin toimivina. Perehdytystä, koulutusta sekä kokemusta tarvittaisiin tahtituotannon osalta enemmän. Tahtituotannon edellytyksistä eniten haasteita aiheutuu suunnittelusta. Ongelmien ennakoimiseksi varsinkin suunnitteluaikataulun ja –ratkaisujen tulee olla selkeitä. Suunnitelmien valmiustasoa ja strategista päätöstä tahtituotannon käytön osalta pidettiin alkuperäisessä toteutusmallissa mahdollistavina tekijöinä, mutta työpajassa kyseisiä edellytyksiä pidettiin pakollisina edellytyksinä. Eli on tehtävä strateginen päätös, toteutetaanko projekti tahtituotantomallilla, mikäli projektin suunnitelmat ovat vaillinaisia. Tämä strateginen päätös nostetaan pakolliseksi edellytykseksi. Lisäksi osallistujat nostivat esille, ettei tahtituotantoa kannata käyttää sellaisissa projekteissa, joissa suunnitellaan ja rakennetaan samanaikaisesti. Tämä johtaa siihen, että täytyy olla etukäteen tehty selkeä päätös tahtituotantoprosessin käytön osalta. Näin ollen olisi mahdollista sitouttaa LSH-aikataulun ansiosta tahtituotantoon paremmin sekä projektiorganisaatio, suunnittelijat että kooltaan isommat urakat. Suunnitteluun vaikutti myös tahtituotannon osalta esivalmistusasteen nostaminen. Haasteena pidetään vaillinaiset suunnitelmat, jolloin esivalmistusastetta on hankala nostaa, sillä esivalmistuksen käyttö vaatii päätöksen jo aikaisessa vaiheessa.

Käyttäjämutosongelmaan esitettiin vaihtoehdoksi sellaisen junan suunnittelu, jolla valmistetaan vakiorakenteet. Vakiorakenteilla tarkoitetaan rakenteita, joihin käyttäjät eivät yleensä tee muutoksia. Tällöin rakennus jätettäisiin ns. raa’alle pinnalle. Raa’alla pinnalla tarkoitetaan rakenteellisia pintoja, kuten betoni tai seinien maalaamista pohjamaalilla ilman tarkempaa sävytystä. Raa’alla pinnalla voi myös tarkoittaa, että rakennetaan vain ulkoseinät ja jätetään seuraavaan vaunuun sisäpuolen ei kantavat seinät. Toisen junan tarkoituksena on suorittaa loppuun loput rakenteet ja pinnat käyttäjien haluamallaan tavallaan. Käyttäjämutoksiin liittyviä haasteita pidettiin ongelmana yrityksen kulttuurin takia, sillä usein käyttäjät voivat tehdä käyttäjämuitoksia vielä rakentamisprosessin myöhäisessäkin vaiheessa. Yrityksen kulttuurilla tarkoitetaan asiakaspalvelullista toimintatapaa, jossa asiakkaan muutoshaluja otetaan myöhäisessäkin vaiheessa huomioon.

Riittävää työntekijäresursointia pidettiin myös edellytyksenä. On varmistettava, että projektissa on riittävästi työntekijöitä. Kohteessa 1 projektiorganisaatio piti resursointia liian alhaisena ja varsinkin pilottiprojektin osalta oltaisiin tarvittu tavallista enemmän resursseja. Tähän liittyy vahvasti myös pääurakoitsijan yrityksen johdon sitoutuminen ja tuki tahtituotantoon, sillä johdolla on iso vaikutus tahtituotannon käynnistämisen onnistumisen kannalta. Onnistuminen vaatii johdolta ymmärrystä sekä panostusta resursointiin. Pilotoinnissa täytyy käyttää enemmän työntekijöitä, sillä prosessi on uusi.

Lisäksi esille nostettiin tahtituotannon käyttöä oikeantyyppisissä hankkeissa. Tahtituotantoa ei pidetty niin toimivana prosessina lyhyempikestoisissa projekteissa. Tähän ei löydy tukea myöskään kirjallisuudesta, sillä aiempia tutkimuksia tahtituotannon käytöstä lyhyempikestoisissa toimitilaprojekteissa ei löydy. Aihe vaatii lisää tutkimuksia, joiden perusteella voidaan todeta sen toimivuus. Tutkimuksen lähtökohtana toimii oletamus, että tahtituotantoa voisi käyttää erikokoisissa projekteissa, mikäli prosessi on muokattu juuri kyseisen projektin tarpeiden ja vaatimusten mukaisesti.

Sitouttamista pidettiin erittäin tärkeänä tekijänä sekä pakollisena edellytyksenä. Olisi tärkeä osoittaa kaikille osapuolille tahtituotannon hyödyt. Kohteessa 1 haasteita aiheutti suunnittelijoiden sekä tilaajan sitoutumattomuus. Yhteistoiminnallisuutta pidettiin hyvänä tapana sitouttaa osapuolia. Lisäksi tahtituotantoprosessin ymmärryksellä ja osaamisella nähtiin olevan suuri vaikutus sitouttamisen kannalta ja tämän tekijän merkitystä olisi syytä korostaa koko yrityksessä.

6.3.2 Tahtisuunnittelu

Osallistujat pitivät tahtisuunnitteluprosessia toimivana ja tehokkaana. Lisäksi nähtiin, että prosessia voidaan soveltaa useammissa kohteissa. Tätä tukee myös kirjallisuus sekä tutkimuksen tulokset. Osallistujat pitivät erityisen toimivana 6 -askeleen prosessia. Aiemmin esitettiin kohteen 1 haasteet, joista yksi oli aikataulun tiukkuus sekä aikataulussa pysyminen. Osallistujat eivät nähneet, että taulukon 7 ratkaisuehdotuksia oltaisiin voitu hyödyntää kohteen 1 ongelmien ratkaisemiseen, sillä projektin aikataulu oli tehty liian tiukaksi eikä tahtituotannolla ollut siihen vaikutusta.

Osallistujat painottivat tahtisuunnitteluprosessin laatijan kokemuksen ja osaamisen tärkeyttä. Lisäksi tahtisuunnittelunohjaukseen kaivattiin lisää konkreettisia toimenpiteitä. Toteutusmalli tarjoaa toimenpiteitä, joita voidaan hyödyntää käytännössä, mutta työpaikassa ei keretty riittävän tarkasti käymään kyseisiä toimenpiteitä läpi. Tahtisuunnittelunohjaus vaatii lisää koulutusta ja simulointia, joiden tueksi tarvitaan asiantunteva tukihenkilö. Osallistujat nostivat esille myös tärkeyden ymmärtää tahtituotannon filosofia sekä tekniikan, jolla tahtisuunnitelma voidaan tehdä. Kohteen 1 alustavaa tahtiaikalaskentaa pidettiin toimivana pohjana, sillä laskenta luo pääurakoitsijalle paremmat mahdollisuudet ymmärtää kokonaisuutta sekä ohjata tahtisuunnittelua.

Viiden päivän tahtia pidettiin toimivana tahtiaikaratkaisuna kohteelle 1 ja osallistujat pitivätkin kyseistä tahtiaikaa sopivana tahtina myös muiden toimitilaprojektien osalta. Tämän osalta korostettiin varsinkin tahdin rutiinimaisuutta sekä selkeyttä työmaalla, sillä tarkastukset tehdään aina tiettyinä päivinä viikossa. Viiden päivän tahdissa voidaan käyttää myös viikonloppupuskuria, jota pidettiin toimivana puskurina. Kohteen 1 yhtenä ongelmana pidettiin puskurin puuttumista ensimmäisen tahdin (maanantai ja tiistai) jälkeen. Kahden päivän tahdilla olisi voinut keskiviikon ja lauantain jättää puskureiksi. Osallistujien mielestä viiden päivän tahdin luoma viikoittainen rytmi on paras tapa aloittaa uusi tuotantomalli. Viiden päivän tahtia pidettiin kuitenkin haasteellisena lyhyempikestoisissa projekteissa, sillä kokonaisaika ei välttämättä riitä projektin loppuun saattamiseen. Tätä tulisi tarkastella tarkemmin alkulaskennan avulla sekä selvittää vielä tahtisuunnittelussa urakoitsijoiden kanssa, pystytäänkö suorittamaan tehtäväpaketit järkevällä tavalla. Osallistujat olivat samaa mieltä viiden päivän tahdin toimivuuden osalta, joten kyseisestä tahtia on tarkoitus käyttää myös toteutusmallissa. Viiden päivän tahti todettiin myös auttavan moniin kohteessa 1 havaittuihin ongelmiin.

6 –askeleen prosessissa työjärjestyksen ennakkosuunnittelua yhteistoiminallisesti pidettiin toimivana ratkaisuna. Prosessissa pidettiin kuitenkin tahtialuejakoa sekä työvirtauksen tasapainotusta ongelmallisena. Toteutusmallissa kummatkin osa-alueet ratkaistaan ja suoritetaan yhteistoiminnallisesti. Koulutusten ja simuloinnin kautta tahtisuunnittelun eri vaiheet aukeavat paremmin kuin yhdessä työpajassa. Osallistujat pitivät toimivana, ettei tahtialueita saisi suunnitella liian pieniksi eikä tahtialueiden tarvitse olla samankokoisia alueita. Työtiheyden avulla on mahdollista luoda toimivia tahtialueita. Lisäksi työpajassa nousi esille tahtisuunnittelun aloittamisen aikaväli. Osallistujat pitivät yrityksen tämänhetkisen toimintatavan vuoksi tahtisuunnitelman aloittamista 2-6 kuukautta ennen töiden aloittamista haasteellisena. Yrityksellä ei välttämättä ole varmuutta tulevista projekteista vielä niin aikaisessa vaiheessa. Haasteena on se, että vaikka projekti olisi tiedossa ei siihen välttämättä ole vielä sidottu esim. työnjohtajia. Tahtisuunnittelun aloittamista 2-6 kuukautta ennen töiden aloittamista pidettiin mahdollisena ainoastaan siinä tapauksessa, jos projekti saisi riittävästi resursseja jo projektin aikaisessa vaiheessa.

Tahtiaikataulun hyvänä puolena pidettiin sen havainnollistavuutta, joten tarkoitus on tuoda tahtiaikataulua entistä paremmin esille myös työmaalla. Tahtivaunuja pidettiin yhtenä tärkeimmistä uusista työkaluista tahtituotannossa. Osallistujien mielestä vaunut auttavat havainnollistamaan konkreettisesti tahdin sisältämiä työtehtäviä sekä toimii apuna pääurakoitsijan työnohjaukselle sekä urakoitsijoiden työnteossa. Vaunuista saadut tiedot auttavat ja tukevat myös lyhytsyklistä työnohjausta. Lisäksi vaunujen sisältämät tiedot helpottavat ymmärrystä tahtituotannosta. Osallistujat pitivätkin aluksi ongelmallisena, ettei yksittäisen tahdin työtehtävien kokonaisuutta ymmärretä, mutta vaunujen avulla voidaan yksiselitteisesti sekä visuaalisesti muodostaa kuva työtehtävien kokonaisuudesta. Yhtenä tahtiaikataulun haasteena pidettiin mahdollisuutta muuttaa aikataulua ongelmien ilmetessä. Tähän kuitenkin todettiin, että itse aikataulua ei tarvitse muuttaa, vaan muutokset voidaan tehdä vaunuihin. Kokonaisuuden hahmottamista varten pidettiin tärkeänä, että vaunujen sisältö avataan sekä työtehtävät määritellään tarkasti. Tahtivaunuihin ehdotettiin, että niihin voisi myös merkitä tarkat määrät, kuten materiaalit ja työtunnit. Tämä vaatisi enemmän työtä suunnitteluvaiheessa, mutta määrät voidaan sijoittaa (sekä työtunnit laskea) taulukkoon, kun yritykselle saadaan valmis pohja menekeistä. Tietomallin hyödyntäminen helpottaa määrien saamista. Työtunteja voidaan muokata vielä yhdessä urakoitsijan kanssa. Lisäksi osallistujat ehdottivat vaunutietojen integroimista työmailla käytettyyn Congrid -sovellukseen, jonka ansiosta laadunvalvonta olisi systemaattisempaa sekä helpottaisi työtehtävien ja tarkastusten tarkastamista.

Varamestojen käytön osalta oltiin kahta mieltä. Pääsääntöisesti halutaan, että varamestojen määrä pidetään mahdollisimman pienenä ja ainoastaan sellaiset alueet, joiden sijoittaminen haluttuun tahtiin on haasteellista, sijoitetaan varamestoiksi. Mikäli varamestoja halutaan sisällyttää osaksi tahtiaikataulua, varamestoille tulee suunnitella oma tahtiaikataulu. Suurin osa osallistujista oli kuitenkin sitä mieltä, ettei varamestoja tulisi sijoittaa tahtiaikatauluun, vaan ne pitäisi vain sijoittaa pohjakuviin näkyviin. On kuitenkin tärkeää, että varamestat suunnitellaan aikaisessa vaiheessa ja niitä valvotaan. Toisena vaihtoehtona pidettiin oman junan suunnittelemista varamestoille (esimerkiksi pystysuuntaisille töille), mikäli varamestat halutaan sisällyttää osaksi tahtiaikataulua. Kyseisen vaihtoehdon osalta osallistujat nostivat vielä esille, ettei ilman tarkempaa suunnitelmaa onnistuttaisi varmistumaan ajallisesta valmistumisesta. Puskureiden suunnittelussa ei haluta varautua liikaa iltoihin tai viikonloppuihin, sillä tahtisuunnitelma pitäisi rakentaa siten, että työt pystytään viemään loppuun normaalin työajan puitteissa.

Junien määrästä oltiin pääsääntöisesti sitä mieltä, että johtamisen kannalta on tehokkaampaa sekä yksinkertaisempaa ylläpitää yhtä juna. Junien määrä halutaan pitää mahdollisimman alhaisena ja ongelmanratkaisua varten voidaan tarvittaessa lisätä yksi juna. Yhden junan määrän toimivuutta korostettiin myös siitä syystä, että ensimmäisissä tahtituo-
tantoprojekteissa halutaan minimoida häiriön herkkyyttä. Tämä onnistuu taas parhaiten yhden junan hallinnalla. Toisaalta muutama osallistuja piti päätöstä junien määrästä projektikohtaisena. Näin ollen toteutusmalli on tarkoitus suorittaa yhdellä pääjunalla. Kuten aiemmin jo todettiin, toteutusmalliin voidaan tarvittaessa tehdä projektikohtaisia muutoksia tarpeiden ja vaatimusten mukaisesti.

6.3.3 Tahtiohjaus

Tahtiohjauksen osalta selviteltiin työpajaan osallistuneilta, mitä työkaluja he pitivät erityisen tärkeinä. Tärkeimmäksi koettiin osallistujien keskuudessa tahdin päivittäistapaamiset, mutta vaatii kuitenkin tueksi tarkempia ohjeita. Kyseistä toimintatapaa pidettiin erittäin tärkeänä työkaluna, joka varmistaa tahdissa pysymisen. Varsinkin tahtivaunujen antamien tietojen mukaan tätä pidettiin erittäin tehokkaana toimintatapana. Tahdin päivittäistapaamisessa pidettiin kuitenkin ongelmana työmaalla vallitsevat kulttuurierot ja erikielisyys eri urakoitsijoiden työntekijöiden välillä. Haasteita aiheuttaa myös se, ettei urakoitsijoilla ole päivittäin paikan päällä työnjohtajaa ja työnjohtaja voi olla kyseisen työporukan ainoa henkilö, joka puhuu suomen kieltä. Urakoitsijoiden olisi siis varmistettava, että aina olisi paikan päällä nokkamies ja työnjohtaja, joka puhuu joko suomen tai englannin kieltä. Muita osallistujien esille tuomia työkaluja muutoksiin oli yhteistoiminnallisuus, sitouttaminen (esimerkiksi urakoitsijapalaverilla), muutoksiin varautuminen ja ennakointi, materiaalien tahtiaikataulu, kurinalaisuus, ymmärrys ja halu kehittyä, esivalmistus, tukihenkilö sekä tuottavuuden jatkuva seuraaminen. Osallistujat pitivät toteutusmallissa (kuva 21) esitetyistä työkaluista tärkeinä lähes kaikkia työkaluja. Ottaen huomioon sekä tahtiohjauksen teoreettisen että käytännönläheisen näkökulman, voidaan siis todeta, että tahtiohjauksen osalta esitetyt työkalut ovat toimivia ja valittu järkevästi.

Työpajassa selviteltiin myös Big Room –käytännön mahdollisuutta. Tällä ei tarkoitettu Big Room –käytännön hyödyntämistä kokonaisuudessaan vaan pelkästään sitä, että eri osapuolet (kuten suunnittelija, tilaaja, pääurakoitsija ja urakoitsijat) olisivat päivittäin työmaalla samassa tilassa nopeuttamassa päätöksentekoa ja helpottamassa ongelmanratkaisua. Tällaista Big Room –käytäntöä esiteltiin myös mahdollistavissa edellytyksissä. Toteutusmallissa esitettyä Big Room –käytäntöä ei pääsääntöisesti pidetty osallistujien kesken edellytyksenä eikä niin merkittävänä vaikuttajana tahtiohjauksen osalta. Käytäntöä ei pidetty myöskään mahdollisena toteuttaa esitetyllä tavalla. Ongelmakohtina pidettiin varsinkin pienempiä projekteja, joissa tällaista käytäntöä ei ole mahdollista toteuttaa kustannussyistä. Toisena haasteena pidettiin tässä tilaajan ja suunnittelijoiden tahtotilaa. Kyseistä käytäntöä pidettiin toimivana käytäntönä pienillä muutoksilla. Resurssihaasteen vuoksi vastaavasta käytännöstä kevyemmän version toteuttamista pidettiin taas hyvänä ja toimivana ideana. Osallistujat ehdottivat, että esimerkiksi projektin alkuvaiheessa osapuolet voisivat olla työmaatoimistolla läsnä vähintään puoli päivää viikosta. Tämän jälkeen suunnittelijat ja tilaaja sitoutuisivat toteutusmallissa esitettyyn ongelmanratkaisumalliin, jolloin he tulisivat tarvittaessa ongelman ilmetessä paikan päälle viimeistään seuraavana päivänä. Toteutusmallista voidaan siis poistaa Big Room –käytäntö, jonka tilalle lisätään kevennetty versio kyseisestä käytännöstä, joka toimii osana ongelmanratkaisumallia.

Lisäksi työpajassa selviteltiin ongelmanratkaisumallin toimivuutta kohdeyrityksen tahti-projekteissa. Suurin osa osallistujista oli sitä mieltä, että ongelmanratkaisumalli on toimiva ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan. Malli pitää vielä testata käytännössä ja implementoida osaksi toimintaa. Muutama osallistuja oli kuitenkin sitä mieltä, ettei mallia voida käyttää sellaisenaan ja esimerkiksi projektipäällikkötasolle menevä ongelmanratkaisun toteuttaminen viimeistään seuraavana päivänä paikan päällä on erittäin haasteellista. Yksi osallistujista halusi ottaa tämän mallin käyttöön jo kohteen 1 seuraavassa vaiheessa. On kuitenkin huomioitava, että mallin onnistunut käyttöönotto vaatii myös muiden osapuolten tahtotilaa (varsinkin tilaajalta), riittävästi resursseja projektiin sekä sitoutumista ja johtamista ylemmältä tasolta. Lisäksi osallistujat pitivät myös hyvänä toimintatapana nimettyjen henkilöiden merkitsemistä ongelmanratkaisumalliin.

Seuraavaksi käsiteltiin työpajassa, kuinka voidaan varmistaa mahdollinen tahdin 100 prosentin toteuma eli millä keinoilla pystytään minimoimaan korjaustöiden määrää. Eniten korostettiin hyvää etukäteen tehtyä tahtisuunnittelua. Lisäksi osallistujat nostivat esille mahdollisiksi keinoiksi seurannan (varsinkin tiukan seurannan), reagoinnin sekä välittömän puuttumisen poikkeamiin. Alkuvaiheessa pitäisi kiinnittää entistä enemmän huomiota varsinkin toteuman seurantaan. Tämän osalta haasteita voi aiheuttaa myös henkilöstöresursointi, sillä työpajassa koettiin, että työmaainsinööreille jäi liian iso vastuu tahtituotannosta. Ratkaisuna tähän ehdotettiin tukihenkilön käyttöä työmaan apuna ja tukena tahtituotannossa. Myös seurannan vastuuttamista pidettiin haasteellisena. Muita esille nousseita työkaluja, joilla voidaan varmistaa tahdin 100 prosentin toteuma, oli aito kiinnostus työn valmiiksi saattamiseen aikataulun mukaisesti, tiukka johtaminen, tavoitteisiin pääsemisen vaatiminen ja seuranta, osakohteiden vastaanotto ja luovutus sekä vaunujen sisältöjen mukaiset katselmukset. Korjaustyön jättämistä seuraavan tahdin maanantaille pidettiin huonona ideana. Osallistujat ehdottivat konkreettisiksi keinoiksi sanktioiden ja palkkioiden jakamista. Mikäli projektissa päästään onnistuneesti tahtiin, pääurakoitsija voisi esimerkiksi palkita työnjohtajaansa sekä urakoitsijoita onnistuneista suorituksista. Yhtenä keinona nousi esille myös laskuttamisen sitominen tahdin mittaan, jolloin voidaan seurata viikoittaisen laskutuksen kautta toteumaa.

Materiaaliliikenteessä pidettiin materiaalien tahtiaikataulua hyvänä tapana seurata ja havainnollistaa tarkemmin, milloin tarvitaan materiaaleja missäkin. Materiaalien tahtiaikataulua olisi syytä testata enemmän, sillä esimerkiksi kohteessa 2 sen käyttö oli jäänyt vähemmälle. Tästä syystä materiaalien tahtiaikataulun toimivuudesta ei myöskään ole konkreettista tietoa. Kohteessa 2 materiaalien tahtiaikataulua pidettiin toimivana työkaluna, mutta sen toimivuudesta ei päästy keskustelemaan sen tarkemmin. Työpajassa pyrittiin selvittämään, olisiko Suomessa mahdollista ottaa käyttöön välivarastointi urakoitsijan kautta. Tässä pidetään isoimpana haasteena pääurakoitsijan halua hankkia itse materiaalit. Toisena haasteena nousee esille halu käyttää tilattavien materiaalien osalta omia sopimushintoja, jolloin tilaukset hoidetaan mieluiten itse. Kohteessa 1 varastoinnin osalta ei nousut esille ongelmia, sillä projektilla riitti säilytystilaa. On huomioitava, että välivarastointi maksaa enemmän kuin varastointi työmaa-alueella. Välivarastoinnista voi siis aiheuttaa pienille toimijoille merkittäviä kustannuksia, joka taas toimisi rajoitteena urakan kilpailuttamisessa. Välivarastointia pidetään kuitenkin mahdollisena keinona sellaisissa projekteissa, joissa tilaaja on valmis siitä maksamaan. Yksi esille noussut ehdotus olikin, ettei vastuuta siirrettäisi urakoitsijoille, vaan keskitetysti logistiikkatoimijalle, joka toimittaisi materiaalit materiaali- ja tahtiaikataulun mukaisesti viikoittain työmaalle.

Lopuksi käytiin vielä läpi osallistujien mielipiteitä toteutusmallin urakoitsijapalaverista. Urakoitsijapalaverikäytäntöä pidettiin erittäin toimivana ja osallistujien mukaan urakoitsijapalaverissa tulisikin käydä asioita läpi esitetyn mallin mukaisesti. Työpajassa nousi kuitenkin esille, että käytäntöä voitaisiin muokata hieman. Palaverirunkoa pidettiin toimivana, mutta palaverin sisältöä olisi syytä vielä tarkentaa. Kaikki osallistujat olivat sitä mieltä, että kyseistä urakoitsijapalaveripohjaa tulisi hyödyntää kaikkien tahtiprojektien urakoitsijapalavereissa. Muutosta perinteiseen palaverikäytäntötapaan pidettiin hyvänä ja muutosten ansiosta palavereista tulisi enemmän työtä tukevia sekä ohjaavia. Tämän osalta on varmistettava urakoitsijoiden sitoutuminen palavereihin, sillä läsnäolo on erittäin tärkeää. Työpajassa haasteena pidettiin urakoitsijoiden työnjohtajien osallistumista palavereihin.

6.3.4 Yhteenveto

Edellytykset, tahtisuunnitteluprosessi tai tahtiohjauksen työkalut eivät juurikaan muuttuneet aluksi esitetystä toteutusmallista. Edellytyksistä muutettiin pakolliseksi suunnitelmien valmiusaste, joka tarkoittaa käytännössä strategista päätöstä tahtituotannon käytöstä sellaisissa projekteissa, joissa suunnitelmat eivät ole riittävällä valmiusasteella. Edellytysten varmistaminen on tahtituotannon onnistumisen kannalta kriittistä. Big Room –käytännöstä on tarkoitus muokata toteutusmalliin kevyempi versio. Myös sitoutumista pidetään tahtituotantoprosessin onnistumisen kannalta hyvin tärkeänä. Sitoutumisen kannalta onkin tärkeää lisätä oman projektiorganisaation koulutusta ja perehdytystä tahtituotantoprosessiin. Myös yhteistoiminnallisuuden todettiin tukevan hyvin sitoutumista. Sitoutuneisuuden on lähdeittävä myös yrityshierarkian korkeammalta tahoilta pääurakoitsijan yrityksestä eli myös johdon on oltava sitoutunut tahtituotantoprosesseihin.

Yhteenvetona tahtisuunnitteluprosessia pidettiin toimivana sekä tehokkaana prosessina ja muutokset koskivat enimmäkseen viimeistelyosiota. 6 askeleen mallia pidettiin erityisen toimivana. Viiden päivän tahtia pidettiin sopivampana valintana myös toimitilakohteisiin. Viimeistelyvaiheeseen valittiin junien määräksi pääsääntöisesti yksi pääjuna, jota pystyy tarvittaessa muuttamaan projektikohtaisesti. Ilta- ja viikonloppupuskureihin ei haluta turvautua liikaa, mutta puskurit ovat toimivia apuvälineitä viiden päivän tahdissa. Varamestojen osalta ei noussut osallistujien kesken yhtä yleistä mielipidettä ja varamestojen toimenpiteet vaativatkin enemmän kokeilua. Projekteissa tulisi pyrkiä minimoimaan varamestojen määrät ja tarvittaessa pitäisi suunnitella oma juna varamestoille yhdessä urakoitsijoiden kanssa. Varamestat tulee kuitenkin myös jatkossa merkitä pohjakuviin.

Tahtiohjauksen työkaluihin ei tullut muita muutoksia kuin aiemmin mainittu muutos Big Room -käytäntöön. Työkaluja pitää vielä tarkentaa ja konkretisoida sekä kokeilla työpajassa esille nostettuja ehdotuksia työkaluista. Tärkeimmäksi esille nousseista tahtiohjauksen työkaluista nousi tahdin päivittäistapaamiset. Tahtiohjauksen työkalut on tarkoitus ottaa käyttöön projektin seuraavissa vaiheissa sekä jatkaa työkalujen kehittämistä. Tahtituotannon toteutusmalli vaatiikin kohdeyrityksessä Lean –ajattelumallin mukaista jatkuvaa kehittämistä.

6.4 Tutkimuksen rajoitteet

Toteutusmallia on lähdetty kehittämään kohteiden 2 ja 3, asiantuntijoiden ja kirjallisuuden tietojen pohjalta. Tutkimuksen aikana nousi esille maantieteellisiä rajoitteita, koska tutkimuksessa on tutkittu kahden eri maan (Yhdysvaltojen ja Suomen) rakentamisen toi-

mintatapoja. Rajoitteet voivat luoda haasteita, mutta eivät kuitenkaan poissulje tahtituotannon käyttöä. Rajoitteet on huomioitava suunnitelmassa tahtituotantomallia. Tutkimuksessa on keskitytty pääosin yhteen tahtituotantomenetelmään eikä otettu kantaa muihin tahtituotantomenetelmiin.

Rakentamisen kulttuuri ei poikkea merkittävästi eri maiden välillä (H11). Ihmisten väliset kulttuurierot voivat kuitenkin poiketa toisistaan paljonkin sekä aiheuttaa merkittäviä haasteita. Haasteita ulkomaisen työvoiman käytössä on kommunikointi eri kielillä. Yhteistoiminnallinen tahtisuunnittelu ja -ohjaus voi myös lisätä haasteita, mikäli työmaalla ei pystytä käyttämään yhteistä kieltä. Tilanne on kuitenkin eri Yhdysvalloissa, jossa käytetään myös ulkomaalaisia työntekijöitä, sillä suurin osa puhui yhteistä kieltä. Näissä kahdessa maassa esiintyy eroavaisuuksia myös sosiaalisuuden ja kommunikoinnin osalta. Yhteistoiminnallisuus toimiikin mahdollisesti helpommin Yhdysvalloissa, sillä ihmisten kulttuurillisten erojen ansiosta muutos onnistuu siellä helpommin kuin Suomessa.

Kohteiden eroavaisuudet tulee ottaa huomioon. Kohteet 2 ja 3 ovat terveystalon käyttöön suunniteltuja rakennuksia, joissa on samankaltaisia ominaisuuksia. Kohde 1 on taas toimistorakennus. Tahtituotantoa on tutkittu terveystalolle suunnatuissa rakennuksissa enemmän kuin muiden toimitilarakennusten osalta, joten aikaisempaa kokemusta ja tietoa samantyyppisestä rakentamisesta oli. Kohteen 1 tapaisten toimistorakennusten osalta ei löydy toistaiseksi aiempia tutkimustuloksia eikä näin ollen ole tutkimusta tahtituotannon hyödyistä ja toimivuudesta senkaltaisissa projekteissa. Kohteet 2 ja 3 ovat myös kooltaan isompia sekä aikataulullisesti pidempikestoisia projekteja, joten projektien kustannusarviot eroavat kohteesta 1. Kohteiden projektiorganisaatiot ovat isompia ja eri osapuolten edustajia on enemmän läsnä päivittäisellä tasolla. Isommissa projekteissa on helpompi sitouttaa urakoitsijoiden työnjohtaja pelkästään yhteen projektiin, koska työtä on paljon.

Monet urakoitsijat ovat Yhdysvalloissa suurempia kuin Suomessa, jolloin heillä voi olla käytössään paremmat resurssit sekä enemmän kokemusta. Isommissa yrityksissä saatetaan kehittää enemmän omia toimintatapoja. Esimerkiksi kohteen 3 urakoitsijan yritys halusi tuoda Lean -ajattelua enemmän osaksi työntekeä, jolloin myös tahtituotantoon olisi helpompi sopeutua. Urakoitsijat tekevät itse suunnitelmat oman osa-alueen osalta (esimerkiksi talotekniikka), jolloin monet suunnitelmaongelmat pystytään ratkomaan yrityksessä sisäisesti. Näin ollen myös heidän sitoutuminen projektiin on laajempaa, sillä he ovat olleet projektissa mukana jo suunnitteluvaiheesta asti.

Kiviniemen (2015) mukaan suunnittelututkimuksessa on validointiin olemassa kolme kriteeriä: prosessivaliditeetti, käytännöllinen validiteetti ja yleistettävyyys. Prosessivaliditeetilla tarkoitetaan kehitysprosessin kuvausta (tutkimuksen johdonmukaisuus). Tutkimuksen osalta on aiemmin käyty läpi aineistokeruun validiteetti ja rajoitteet sekä tutkimusta on ohjannut ohjaajan sekä valvojan osalta. Tutkimus on suoritettu kvalitatiivisena tutkimuksena, jonka kohteet on valittu kuvaamaan mahdollisimman hyvin tutkittavaa ilmiötä. Tutkimukseen on valittu kohteet, joiden tahtituotantomalli on todettu toimivaksi myös käytännössä. Käytännöllinen validiteetti on suoritettu työpajassa, jossa haettiin käytännön näkökulmasta kehitysehdotuksia toteutusmalliin. Prosessin pitkistä kestoista johtuen, toteutusmallia ei päästy testaamaan todellisessa ympäristössä. Yleistettävyydellä tarkoitetaan sitä, että esimerkiksi toteutusmallia voidaan käyttää yleisellä tasolla. Tutkimuksen tarkoitus olikin luoda yleinen tuotantomalli, jota voidaan yrityksessä hyödyntää erilaisissa projekteissa. Työpajassa todettiin, että toteutusmallia voidaan käyttää useammissa projekteissa pohjana. Tätä tukee myös tapauskohteet ja asiantuntijahaastattelut.

6.5 Tutkimuksen tieteellinen kontribuutio

Tutkimuksen tieteelliseen kontribuutioon vaikuttaa merkittävästi tutkimusmenetelmäksi valikoitunut suunnittelututkimus, joka mahdollisti tutkimusaiheen tutkimisen käytännönläheisesti. Tällä työllä saatiin kavennettua kirjallisuuden ja käytännön välistä kuilua. Käytännönläheisen tutkimuksen pohjalta luotiin toteutusmalli, jonka implementointi on mahdollista todellisissa kohteissa sellaisenaan. Haasteena on kuitenkin toteutusmallin lopullinen validointi, sillä sitä ei testattu todellisessa rakennuskohteessa. Suunnittelututkimuksen vaiheistus, jossa lähetään ongelmasta, antoi käytännönläheisen ymmärryksen tämänhetkisistä haasteista sekä tarvittavista toimenpiteistä tahtituotannon implementoinnin osalta toimitilarakentamisessa. Tapaustutkimukset sekä haastattelut olivat toimivia tapoja esittää tutkimuksessa esitetyt haasteet ja ratkaisut. Tutkimuksessa on hyödynnetty syvällisemmän analyysin muodostamiseksi aineistokokeruumenetelmänä triangulaatiota, sillä tapaustutkimus ja haastattelu eivät yksinään mahdollista syvällisempää analyysiä. Lisäksi tutkimuksessa on hyödynnetty triangulaatiota tutkimustulosten validoinnissa.

Tämän tutkimuksen tieteellinen kontribuutio tahtisuunnittelun osalta on vähäisempää, koska kirjallisuudessa on keskitytty pääosin tahtisuunnitteluun. Kalifornialainen malli esitettiin yhtenä tahtisuunnittelun prosessina (mm. Frandson et al., 2013; Tommelein, 2017) ja kyseisen mallin toimivuutta tukee myös tämän tutkimuksen tulokset. Tässä tutkimuksessa sekä kirjallisuudessa osoitettiin mallin toimivuus varsinkin toimitilakohteissa, joissa ei esiinny paljon toistuvuutta sekä alueiden jaossa määräävänä tekijänä pidetään työtiheyttä. Sopivia tahtiajan pituuksia on esitetty kirjallisuudessa 15 minuutista viiteen päivään. Tämä tutkimus tukee viiden päivän tahtiaikaa. Tutkimuksessa esitetään, että viiden päivän tahtiajalla voidaan tehokkaasti aloittaa tahtituotannon implementointi. Kyseisen tahtiajan ansiosta jää tahtiohjaukselle ja tarvittaville toimenpiteille enemmän aikaa. Tahtiohjauksen tulisi olla lyhytsyklisempää kuin tahtiajan (Frandson et al., 2015; Haghsheeno et al., 2016). Tulosten perusteella viiden päivän tahti mahdollistaa lyhytsyklisen tahtiohjauksen onnistumisen rakennuskohteissa, joissa tahtituotantoprosessi on suhteellisen uusi. Kyseinen tahtiaika toimii hyvin varsinkin toimitilarakentamisessa, jossa kohteet voivat olla suurempia kuin esimerkiksi asuntorakentamisessa. Yhtenä merkittävänä tekijänä toteutusmallin toimivuuden osalta on mahdollisuus käyttää mallia pohjana useammassa eri kohteissa. Kirjallisuudessa osoitettiin, että tahtituotantoprosessia voidaan monistaa tuleviin projekteihin (Dlouhy et al., 2016) ja myös tämän tutkimuksen tulokset vahvistivat tahtituotantoprosessin monistettavuuden todellisuudessa.

Lisäksi tämä tutkimus täyttää tutkimusaukon tahtituotannon tapaustutkimuksien kokonaisvaltaisesta tutkimisesta. Aiemmin kirjallisuudessa esitetyissä tapaustutkimuksissa keskityttiin pääosin tahtisuunnitteluun ja tahtiohjausta käsiteltiin pintapuoleisesti. Myös tahtituotantokohteiden vertailua ei ole esitetty kirjallisuudessa. Tässä työssä tunnistettiin useita haasteita tahtituotantoprosessin onnistumiseen liittyen kaikissa tutkimuskohteissa. Kirjallisuudessa keskitytään tahtituotannon onnistumiseen vaikuttaviin tekijöihin ja siten haasteita on esitetty melko vähän. Kirjallisuudessa osoitettuja haasteita ovat sitouttaminen (Frandson et al., 2013; Frandson et al., 2014) sekä korjaustoista aiheutuvat ongelmat (Emdanat et al., 2016). Myös tämän tutkimuksen tulokset tukivat vahvasti edellä mainittuja kirjallisuudessa esitettyjä haasteita. Tässä tutkimuksessa nousi esille merkittävänä haasteena suunnittelu, jonka merkitystä tahtituotannon osalta ei ole aiemmin tutkittu. Haasteita esitettiin lähtötilannekohteesta sekä kohteista, joista haettiin ratkaisuja. Sosiaalisia tekijöitä pidettiin yhtenä merkittävimpinä haasteena, johon myös aiemmin mainittu sitouttaminen kuuluu. Muita tutkimuksessa esille nousseita haasteita ovat tahtisuunnittel-

man noudattaminen todellisuudessa, tuotannon vaihtelevuus, tahtialueiden jako sekä logistiikka. Tutkimustulosten kannalta yllättävänä voidaan pitää tahtialueiden jaon haasteellisuutta, sillä alueet suunnitellaan Kalifornialaisen mallin mukaan yhteistoiminallisesti ja työtiheyksiä käyttäen. Haasteita voivat kuitenkin aiheuttaa edelleen tietyt rajapinnat sekä tahtialueiden tehokkuuden optimointi.

Tutkimuksessa nousi esille myös uusia tahtiohjauksen toimintatapoja ja täten tulokset toivat laajempaa kontribuutiota tahtiohjaukseen. Kirjallisuudessa esitetään tahtiohjauksen toimintatapoja ohjaustoimenpiteiden (Binninger et al., 2017) sekä päivittäisten tahtitapaamisten (Haghsheno et al., 2016; Dlouhy et al., 2016) osalta. Näitä kirjallisuudessa esitettyjä työkaluja tukivat myös tämän tutkimuksen tulokset. Kuten aiemmin mainittiin, aiemmissa tutkimuksissa ei ole tutkittu tahtiohjausta laajasti eikä kokonaisvaltaisesti. Näin ollen kirjallisuudessa esitettyjä tahtiohjauksen työkaluja ei ole esitetty tapauskohteissa kuin ainoastaan pintapuolisesti, jolloin työkalujen implementointi voi olla haasteellista. Tutkimuksessa esitettiin kuitenkin tahtiohjauksen ohjaamiseen uusia käytännönläheisiä työkaluja sekä toimintatapoja. Tässä työssä esitetyt uudet työkalut ovat tahtiaikataulu materiaalitoimituksia varten sekä urakoitsijapalaverikäytäntö. Lisäksi tulokset osoittivat, että myös laadunvarmistus on otettu osaksi viikoittaista tahtimaista rytmiä, sillä tarkastuksille on osoitettu tietty tahdinmukainen vakio viikonpäivä. Tutkimuksessa esitetään haasteita erilaisissa rakennuskulttuureissa kehitettyjen prosessien käyttöönottamista eri rakennuskulttuureissa. Ratkaisuja lähtötilanteen osoittamiin ongelmiin haettiin Yhdysvalloista. Tutkimuksessa nousi esille rakennusteollisuuden maantieteelliset erot, kuten Yhdysvalloissa urakoitsijat ovat usein isompia toimijoita, jotka käyttävät esimerkiksi omia suunnittelijoita. Kirjallisuudessa ei oteta huomioon maantieteellisiä eroja esittäessä näitä uusia prosesseja.

7 Johtopäätökset ja jatkokehitysehdotukset

Tässä diplomityössä tutkittiin tahtituotannon implementointia toimitilarakentamisessa. Tutkimuksen lähtökohtana toimi kohde 1, jonka tietojen pohjalta rakennettiin ymmärrys yrityksen tahtituotannon tämänhetkisestä tilanteesta. Kohteen 1 haasteisiin haettiin ratkaisuja kohteista 2 ja 3 sekä alan asiantuntijoilta. Lisäksi toteutusmallin luomisessa käytettiin tukena aikaisempia tutkimuksia sekä muuta kirjallisuutta. Ratkaisujen avulla luotiin uusi tahtituotannon toteutusmalli toimitilarakentamiselle. Toteutusmallin esittämistä sekä validointia varten pidettiin työpaja, jonka tarkoituksena oli kehittää toteutusmallia käytännön kokemuksen kautta soveltumaan työmaakäyttöön. Lopputuloksen oli toteutusmalli, jota voidaan käyttää useissa tahtituotantokohteissa pohjana. Mallia muokataan projektin tarpeiden mukaiseksi.

Tutkimuksen tavoitteena oli vastata sille asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Pääkysymyksenä oli: ”Miten tahtisuunnittelua ja -ohjausta tulisi ottaa käyttöön toimitilarakentamisessa?”. Kysymykseen vastaus tarvitsi syventäviä kysymyksiä, jotka olivat ”Minkälainen prosessi toimii parhaiten tahtituotannon käyttöönotossa?” sekä ”Mitkä tekijät vaikuttavat onnistumiseen tai aiheuttavat haasteita tahtituotannon implementoinnissa?”. Näihin kysymyksiin esitetään vastaukset seuraavissa kappaleissa.

Ensimmäiseen syventävään kysymykseen vastattiin luomalla toteutusmalli. Mallissa esitettiin prosessi tahtisuunnittelua varten. Tahtiohjauksesta ei löydetty vakiintuneita prosesseja, mutta sen sijaan erilaisia työkaluja löytyi. Tahtisuunnitteluprosessin ensimmäinen osa on lähtötiedot, jotka pitävät sisällään yleisaikataulun, päätös viiden päivän tahdistusta sekä alustavat tahtilaskelmat. Näiden pohjalta toteutetaan itse tahtisuunnitelma 6 askeleen mallilla, joissa jokainen vaihe on iteroiva. 6 askeleen malli pitää sisällään seuraavat vaiheet: tiedon keruu, tahtialueen määrittäminen, työjärjestys, työvirtauksen tasapainotus, tahtivaunujen luonti sekä tahtiaikataulun luonti. Kyseinen malli viimeistellään tekemällä päätös varamestoista ja junien määrästä sekä suunnitellaan puskurit.

Tahtiohjauksen työkalut jaettiin sosiaaliseen ja tekniseen ohjaukseen. Sosiaalisissa työkaluissa painotettiin yhteistoiminnallisuutta sekä sitouttamista. Näihin liittyi vahvasti ymmärrys tahtituotannosta, suunnitelmien noudattaminen ja suunnitelman visuaalinen esitys. Teknisiä työkaluja ovat esivalmistus, tuottavuuden seuranta, työtapojen kehittäminen toistuvuuden osalta, muutoksiin varautuminen ja ennakointi, materiaalitoimituksiin tahtiaikataulu sekä korjaustyön ennaltaehkäisy. Sosiaalisia sekä teknisiä työkaluja ovat päivittäiset tahtitapaamiset, tahtimainen urakoitsijapalaverikäytäntö, ongelmanratkaisumalli ja tukihenkilön käyttö työmaan apuna. Tahtiohjauksen merkittävimpänä työkaluna pidettiin työpajan perusteella päivittäisiä tahtitapaamisia.

Toiseen syventävään kysymykseen löydettiin myös vastaukset. Onnistumiseen vaikuttavat tekijät otettiin osaksi toteutusmallia. Näiden lisäksi onnistumiseen vaikuttaa myös edellytykset toteutusmallin käyttöön. Edellytykset jaettiin kahteen osaan: pakolliset ja mahdollistavat edellytykset. Pakollisia edellytyksiä ovat sitouttaminen sekä strateginen päätös tahtituotannon käyttöönotosta suunnitelmien tason perusteella. Mahdollistavia tekijöitä ovat tilaajan vaatimus tahtituotannon käyttöönotosta, Lean periaatteiden ymmärtäminen, oikeanlainen työntekijäresursointi, esivalmistus sekä selkeä toimintatapa käyttäjämuuksille. Lähtökohtaisena edellytyksenä on toteutusmallin toimivuus tahtituotannon perustana projekteille. Haasteita aiheuttavat tekijät tunnistettiin tutkimuksen kaikista kohteista ja asiantuntijahaastatteluista. Myös toteutusmallin haasteet tunnistettiin työpaja-

jassa. Merkittävimmin haasteina pidettiin sosiaalisia haasteita sekä suunnittelua. Haasteina pidettiin yleistä ymmärrystä tahtituotannosta, logistiikkaa, tahtisuunnittelua ja -ohjausta. Lähtötilannekohteen haasteet tunnistettiin sekä esitettiin tutkimuksessa, haasteiden pohjalta kehitettiin toteutusmalli. Esille nousseille haasteille löydettiin myös mahdollisia ratkaisuja.

Luodun toteutusmallin sekä onnistumiseen vaikuttavien ja haasteita aiheuttavien tekijöiden tutkimisen kautta, tutkimuksessa vastattiin sille asetettuun päätutkimuskysymykseen. Tahtisuunnittelun ja -ohjauksen käyttöönottoa varten luotiin toteutusmalli toimitilarakentamista varten. Toteutettua tutkimusta voidaan pitää onnistuneena, sillä se vastasi asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Kuitenkin haasteena voi pitää toteutusmallin sitä, että toteutusmallia ei tutkimuksen aikana päästy testaamaan todellisessa kohteessa.

Tutkimuksesta nousi esille kuusi jatkotutkimusaihetta:

1. **Toteutusmallin testaaminen todellisuudessa.** Kuten aiemmin todettiin, tämän tutkimuksen aikana ei päästy testaamaan toteutusmallia sen todellisessa ympäristössä. Lopullista projektikohtaista toteutusmallia sekä toteutusmallin käytön ansiosta saatuja tuloksia tulisi tutkia lisää.
2. **Tahtituotantoa tulisi tutkia lisää erityyppisissä projekteissa.** Tällä hetkellä tahtituotantoa on tutkittu Yhdysvalloissa pääsääntöisesti sairaalarakentamisessa, Saksassa autotehtaiden rakentamisessa ja Suomessa jonkin verran asuntorakentamisen projekteissa. Tahtituotantoa tulisi tutkia lisää erityyppisissä rakennusprojekteissa, kuten toimistorakennuksissa. Lisäksi tahtituotantoa pitäisi tutkia myös lyhyempikestoisissa toimitilaprojekteissa. Tahtituotannon toimivuudesta ja vaikutuksista tarvitaan lisää tutkimustuloksia, joka helpottaisi kyseisen tuotantomallin käyttöönottoa. Lisäksi tulosten avulla pystytään kasvattamaan eri osapuolten luottamusta sekä mielenkiintoa tahtituotantoprosessia kohtaan.
3. **Tahtituotantomenetelmien vertaileminen.** Tässä tutkimuksessa käytettiin tutkimuksen pohjana pääosin vain yhtä tahtituotantomenetelmää. Pääasiallisia käytössä olevia tahtituotantomenetelmiä on tällä hetkellä tutkimuksessakin esitetyt Kalifornialainen malli sekä Saksalainen malli. Näitä malleja pitäisi vertailla sekä mallien osalta pitäisi nostaa esille sekä toimivat että toimimattomat käytännöt. Malleja pitäisi tutkia tarkemmin koska niitä käytetään todennäköisesti myös pohjana uusien mallien kehittämiseen. Lisäksi pitäisi tutkia myös muita tahtituotantomenetelmiä. Tahtituotantomallien osalta olisi arvokasta tutkia myös mallien maantieteellisiä eroavaisuuksia toteutuksen osalta.
4. **Tahtiohjauksen työkaluja tulisi tutkia lisää sekä kehittää selkeä prosessi tahtiohjaukselle.** Tämän tutkiminen tapahtuisi pääsääntöisesti tutkimalla yrityksen sisällä tapahtuvaa kehitystä sekä suorittaa erilaisia testauksia. Kirjallisuudesta löytyy vähän tutkimuksia koskien tahtiohjausta ja olemassa olevat tutkimukset ovatkin keskittyneet enemmän tahtisuunnittelun tutkimiseen. Tahtiohjausta varten prosessin luomisen mahdollisuutta tulisi myös tutkia yritysten ulkopuolella.
5. **Suunnittelun integroiminen tahtituotantoprosessiin.** Tutkimuksessa huomattiin, että suunnitteluvaihe on tahtituotannon yksi kriittisimmistä vaiheista ja kyseinen vaihe aiheuttaa haasteita suurimmassa osassa projekteista. Suunnittelulla onkin hyvin suuri merkitys tahtituotannon onnistumisen kannalta ja näin ollen tulisi tutkia, kuinka

suunnittelijat saataisiin sitoutettua osaksi tahtituotantoprosessia ja kuinka suunnittelijoille tahtituotanto -ajattelua pitäisi lisätä.

- 6. Tahtituotannolle sopivien sopimusmallien tutkiminen ja kehittäminen.** Tässä tutkimuksessa ei ollut tarkoitus tutkia tarkemmin tahtituotannossa toimivia sopimusmalleja. Haasteeksi nousi työpajassa erilaiset sopimusmallit, joiden avulla voidaan mahdollistaa tahtituotannon toimivuus. Voi olla haasteellista vaatia urakoitsijoilta tahtituotannon mukaista toimimista ilman sopimuksen velvoitteita. Olisi siis tärkeää tutkia tahtituotannolle sopivia sopimusmalleja sekä kehittää niitä lisää.

Lähdeluettelo

- Alarcon, L. 1997. Tools for the identification and reduction of waste in construction projects. Alarcon (Ed.) Lean Construction, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- Ajayi, S. & Oydele, L. 2018. Critical design factors for minimizing waste in construction projects: A structural equation modelling approach. Resources, Conservation & Recycling 137. s.302-313
- Aziz, R.F. & Hafez S.M. 2013. Applying lean thinking in construction and performance improvement. Alexandria Engineering Journal (2013) 52, s. 679-695.
- Ballard, G. & Howell, G. 1995. Towards construction JIT. Lean Construction. s.291-300
- Ballard, G. 1997. Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control. In: Proceedings of the 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Gold Coast.
- Ballard, G. & Howell, G. 1998. Shielding Production: Essential Step In Production Control. Journal of Construction Engineering and Management. 124(1): s.11-17.
- Ballard, G. 2001. Cycle time reduction in home building. In 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. National University of Singapore.
- Ballard, G. & Howell, G. 2003. Lean project management. Building Research & Information. 31:2, s.119-133.
- Ballard, G., Kim, Y-W., Jang, J-W. & Liu, M. 2007. Roadmap for Lean Implementation at The Project Level. A Report to Construction Industry Institute. The University of Texas at Austin.
- Ballard, G., Hammond, J. & Nickerson, R. 2010. Production Control Principles. In: Proc. 17th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan.
- Binnering, M., Dlouhy, J., Karcher, J., Haghsheno, S. (2016). "Baustellensteuerung in getakteten Projekten nach Ansätzen des Lean Construction [Construction control within taktet projects with the approach of Lean Construction]" Conference of scientific assistant in the construction sector. Dresden (in German).
- Binnering, M., Dlouhy, J., Oprach, S. & Haghsheno, S. 2016. Methods for Production Leveling – Transfer from Lean Production to Lean Construction. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 1. s.53-62.
- Binnering, M., Dlouhy, J. & Haghsheno, S. 2017. Technical Takt Planning and Takt Control in Construction, LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece. s.605-612
- Binnering, M., Dlouhy, J., Steuer, D. & Haghsheno, S. 2017. Adjustment Mechanisms for Demand-oriented Optimisation in Takt Planning and Takt Control. In: LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece. s.613-620

Binnering, M., Dlouhy, J., Muller, M., Schattmann, M. & Haghsheno, S. 2018. Short Takt Time in Construction – A Practical Study, In: Proc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, s. 1133-1143.

Biotto C., Kagioglou M., Koskela L. & Tzortzopoulos P. 2017. Comparing Production Design Activities and Location-Based Planning Tools. In: LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the IGLC. Herkalion, Greece. s. 705-712.

Brodetskaia, I., Sacks, R. & Shapira, A. 2013. Stabilizing production flow of finishing works in building construction with re-entrant flow. Journal of Construction Engineering and Management, 139. s.665-674

Building 2030 – Tahti suunnittelussa ja tuotannossa loppuraportti. 2019.

Cambridge Business English Dictionary. 2019. Cambridge Dictionaries Online, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Chauhan, K., Peltokorpi, A., Seppänen, O & Berghede, K. 2018. Combining Takt Planning with Prefabrication for Industrialized Construction. In: Porc. 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India. s. 848-857.

Dresch, A. Lacerda, D. & Antunes Jr, J. 2015. Design Science Research. A Method for Science and Technology Advancement. Springer International Publishing Switzerland 2015.

Dlouhy, J., Binnering M., Oprach, S. & Haghsheno S. 2016. Three-Level Method of Takt Planning and Takt Control – A New Approach for Designing Production Systems in Construction. Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.2 s. 13-22.

Dlouhy, J., Grobler, W., Binnering, M. & Haghsheno, S. 2017. Lean Equipment Installation – Potentials of Using Takt Planning. In: LC3 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece. s. 721-728.

DPR Construction. Projects. Osoitteessa: <https://www.dpr.com/projects>. Viitattu 5.12.2018.

Emdanat, S., Linnik, M. & Christian D. 2016. A Framework for Integrating Takt Planning, Last Planner System and Labor Tracking. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect 2. 53-62.

Eskola, J. & Suoranta, J. 2003. Johdatus laadulliseen tutkimukseen. 6 painos. Tampere, Vastapaino.

Fiallo, M. & Howell, G. 2012. Using Production System Design and Takt Time to Improve Project Performance. Proceedings for the 20th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction, San Diego, CA, USA.

Formoso, C., Isatto, E. & Hirota, E. 1999. Method of Waste Control in the Building Industry, Proceedings ICLG-7, University of California, Berkley, CA, USA. 325-334.

Fransson, A., Berghede, K. & Tommelein, I. 2013. Takt Time Planning for Construction of Exterior Cladding. Proceedings IGLC-21, July 2013. Fortaleza, Brazil. 527-536.

Fransson, A., Berghede, K. & Tommelein, I. 2014. Takt-Time Planning and The Last Planner. Proceedings IGLC-22, June 2014. Oslo, Norway. 571-580.

Fransson, A., Seppänen, O. & Tommelein, I. 2015. Comparison Between Location Based Management and Takt Time Planning. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, 28-31 July, Perth, Australia, 3-12.

Fransson, A. & Tommelein, I. 2016. Takt Time Planning of Interiors on a Pre-cast Hospital Project. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 6. 143-152.

Forbes, L. & Ahmed, S. 2011. Modern Construction Lean Project Delivery and Integrated Practices. Taylor & Francis Group. ISBN: 978-1-4200-6312-7

Fujimoto, T. 1999. The evolution of a manufacturing system at Toyota. New York: Oxford University Press 1999.

Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J. & Sterlike, S. 2016. History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 1. 53-62.

Heinonen, A. & Seppänen, O. 2016. Takt Time Planning: Lessons for Construction Industry from a Cruise Ship Cabin Refurbishment Case Study. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 1. 23-32.

Heyl, J. & Teizer, J. 2017. Lean Production Controlling and Progress Tracking Using Digital Methods. In: LC3 2017 Volume II – Proceeding of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece. 127-134.

Hirsijärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15 painos. Helsinki, Tammi.

Holmström, J., Ketokivi, M. & Hameri, A-P. 2009. Bridging Practice and Theory: A Design Science Approach. Decision Sciences, Volume 40.

Kaiser, J. 2013. Lean Process Management in operational site management. Darmstadt.

Kalsaas, B.T., Skaar, J. & Thorstensen, R.T., 2015. Pull vs. push in construction work informed by Last Planner. In: Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction. Perth. Australia. s. 103-112.

Kauppalehti. 2018, huhtikuu 1. Rakentamisen surkealle tuottavuudelle selitys – Professori: “Työajasta vain 30 prosenttia tuottavaan työhön” Osoitteesta: <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/rakentamisen-surkealle-tuottavuudelle-selitys-professori-tyoajasta-vain-30-prosenttia-tuottavaan-tyohon/5e062e27-4596-3b91-8a2d-93a96c63b6d0>

Kenley, R. & Seppänen, O. 2010. Location-Based Management System for Construction: Planning, Scheduling and Control. London and New York: Spon Press.

Kiviniemi, K. 2015. Design- eli suunnittelututkimus opetus- ja kasvatusalalla. Julkaisussa Valli, R & Aaltola, J. Ikkunoita tutkimusmetodeihin 1. Metodien valinta ja aineistonkeruu: virikkeitä aloitteleville tutkijoille. Jyväskylä. s.220-240

Koivunen, T. 2016. Lean –periaatteiden soveltaminen perustajaurakoinnin prosesseissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos, Tampere.

Koskela, L. 2000. An exploration towards a production theory and its application to construction. VTT Publications 408.

Koskela, L. 1992. Application of the New Production Philosophy to Construction. Technical Report No.72. CIFE. Stanford University. CA.

Koskenvesa, A. 2011. Rakennustyön tuottavuus 1975-2010. Rakennustieto. Rakentajan kalenteri.

Koskinen, I., Alasuutari, P. & Tuomo, P. 2015. Laadulliset tutkimusmenetelmät kauppatieteissä. Tampere, Vastapaino.

Kumar, P.R. 1993. Re-entrant lines. Queuing Systems, 13 (1-3). s. 87-110.

Lau, E. & Kong, J. 2006. Identification of constraints in construction: Projects to improve performance. CCIM 2006 Sustainable Development through Culture and Innovation. 26-29 November 2006, Dubai, UAE.

Linnik, M., Berghede, K. & Ballard, G. 2013. An Experiment in Takt Time Planning Applied to Non-Repetitive Work. Proceedings IGLC-21, July 2013. Fortaleza, Brazil. s. 609-618.

Marzouk, M., Bakry, I. & El-Said, m. 2011. Application of lean principles to design processes in construction consultancy firms. International Journal of Construction Supply Chain Management, 1(1). s. 43-55.

Moura R., Monteiro, J. & Heineck L. 2014. Line of Balance – Is it a synthesis of Lean Production Principles as Applied to Site Programming of Works? IN: Proceeding IGLC-22, June 2014. Oslo, Norway. s. 712

Olivieri, H., Seppänen, O. & Peltokorpi, A. 2017. Real-time Tracking of Production Control: Requirements and Solutions. In: Proc. Lean & Computing in Construction Congress (LC3), Vol. 1. Heraklion, Greece, s.671-678.

Rakennuslehti. 2019, tammikuu 24. Lipsanen rakensi Prisman BMW:n tahtituotanto-opeilla – rakennustyömaiden muuttuvat olosuhteet tekevät soveltamisesta vaativaa. Osoitteesta: <https://www.rakennuslehti.fi/2019/01/lipsanen-rakens-prisman-bmw-n-tahtituotanto-opeilla-rakennustyomaiden-muuttuvat-olosuhteet-tekev-soveltamisesta-vaativaa/>

Rakennuslehti. 2019, tammikuu 16. Asuntorakentamisen sisätyöt nopeutuivat kolmanneksella autoteollisuuden opeilla. Osoitteesta: <https://www.rakennuslehti.fi/2019/01/asuntorakentamisen-sisatyot-nopeutuivat-kolmanneksella-autoteollisuuden-opeilla/>

Rakennuslehti. 2017, syyskuu 4. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa – onko allianssista tai leanista apua? Osoitteesta: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>

Ratu 51-0256, 2004. Puunrunkotyö, seinät. Rakennustietosäätiö RTS 2004.

Rother, M., Shook, J. & Womack, J. 2003. Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. A Lean Tool Kit Method and Workbook. Taylor & Francis, Abingdon.

Sacks, R. 2016. What constitutes good production flow in construction? Construction Management and Economics, 34:9, 641-656. DOI:10.1080/01446193.2016.1200733

Saunders, M., Lewis P. & Thornhill, A. 2009. Research Methods for Business Students Fifth edition. Pearson Education Limited.

Seppänen, O. 2012. A Production Control Game for Teaching of Location-Based Management System's Controlling Methods. In: 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. San Diego, USA.

Seppänen, O. 2014. A Comparison of Takt Time and LBMS Planning Methods. IN: Proceeding IGLC-22, June 2014. Oslo, Norway.s. 727-738.

Shingo, S. & Dillon, A. 1989. A study of the Toyota production system: from an industrial engineering viewpoint, produce what is needed, when it's needed. Taylor & Francis, New York.

Soto, L. 2007. Construction Design as a Process for Flow: Applying Lean Principles to Construction Design, Master of Science, Massachusetts institute of Technology.

SRV. 2019. SRV yrityksenä. Osoitteessa: <https://www.srv.fi/srv-yhtiona/> Viitattu: 9.2.2019

Starkey, K. & Madan, P. 2001. Bridging the relevance gap: Aligning stakeholders in the future of management research. British Journal of Management, Vol. 12, Special Issue, S3-S26.

Tezel, A., Koskela, L. & Aziz, Z. 2017. Lean thinking in the highways construction sector: motivation, implementation and barriers. Production Planning and Control 17. Vol.29 s.247-269.

Tommelein, I. D. 1998. Pull-driven Scheduling for Pipe-spool Installation: Simulation of Lean Construction Technique. Journal of Construction Engineering and Management 124 (4): 279-288.

Tommelein, I. D. 2017. Collaborative Takt Time Planning of Non-Repetitive Work. In: LC3 2017 Volume II – Proceedings of the 25th Annual Conference of the IGLC. Heraklion, Greece. s. 745-752.

Vatne, M. & Drevland, F. 2016. Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study. In: Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA. USA, sect. 1. 173-182.

Womack, J. & Jones, D. 1996. Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York, NY: Free Press, Simon & Schuster, Inc., Second Edition, 2003.

Yassine, T., Bacha M., Fayek, F. & Hamzeh, F. 2014. Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow. Proceedings IGLC-22. June 2014. Oslo, Norway.

Yin, R. 1981. The Case Study as a Serious Research Strategy. Knowledge: Creation, Diffusion, Utilization. Vol. 3 No. 1. Sept. 1981 97-114. Sage Publications. Inc.

Yin, R. 2009. Case Study Research. Design and Methods. Fourth Edition. Vol. 5. SAGE Publications Inc.

Liiteluettelo

Liite 1. Kohde 1 Tahtiaikataulu. 1 sivu.

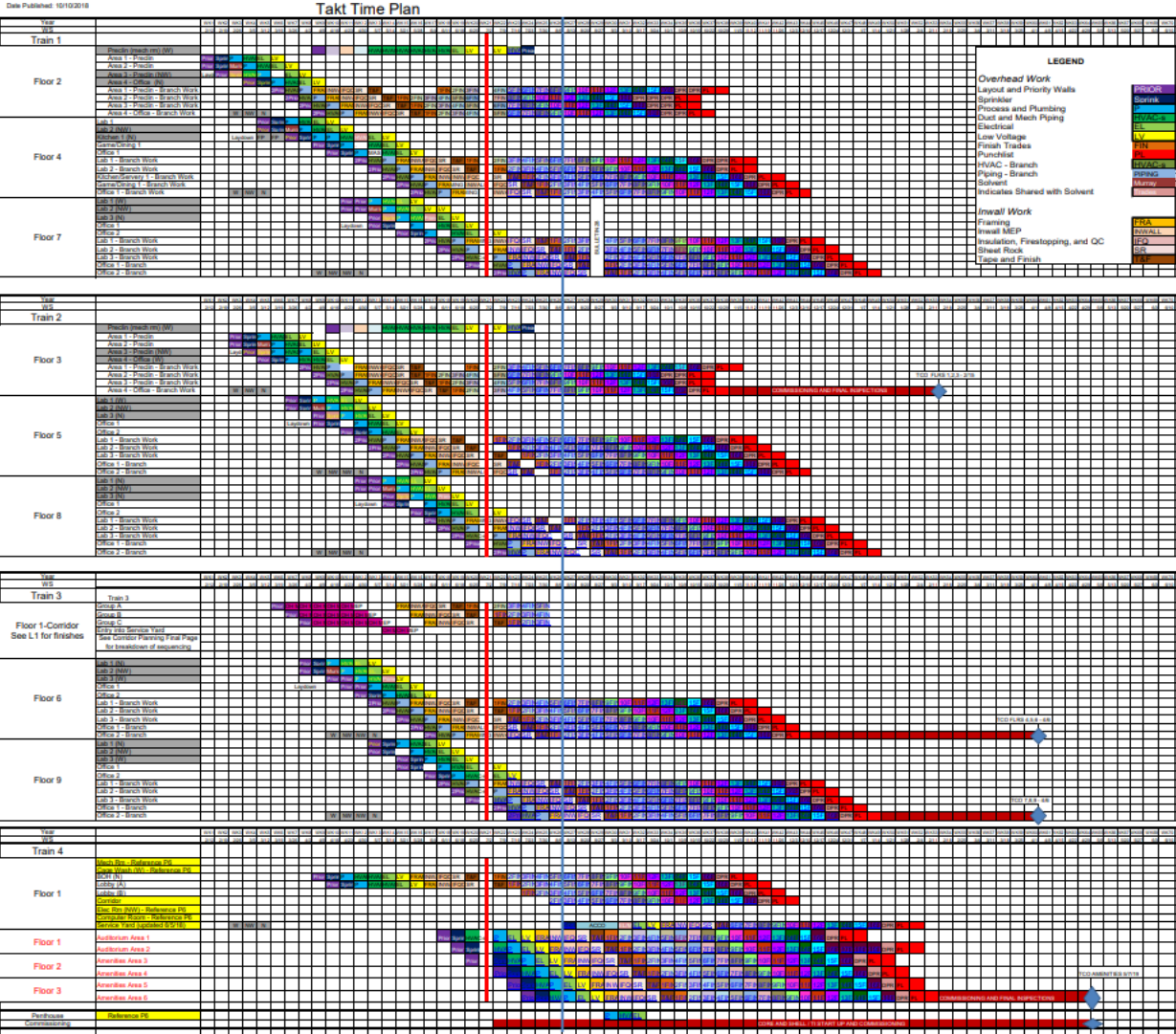
Liite 2. Kohde 2 Tahtiaikataulu. 1 sivu.

Liite 3. Haastattelurunko. 2 sivua.

Liite 1. Kohde 1 – Sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu

[illegible][illegible]

Liite 2. Kohde 2 – Sisävalmistusvaiheen tahtiaikataulu



Liite 3. Haastattelurunko

Introduction

1. What is your role in the project?
2. What is your experience in Takt production?
3. How is the Takt process covered in your company (project participants), what kind of knowledge is given before project and to whom is this given?

Barriers

1. What kinds of barriers or challenges have you faced with takt production?
2. How did these barriers come up?
3. What are the possible solutions for these barriers?

TTP and TTC

1. How do you react to disturbance in production and how do you prepare for them when planning Takt production (if there is a known factor)?
 - a. Will the whole train be stopped when disturbance occurs or how is it dealt with?
 - b. What buffers/adjustment mechanisms do you use?
 - c. How do you actually implement these buffers?
 - d. Is there a specific pattern where buffers are placed? A work phase where buffer is usually placed after?
2. Do you simulate the production beforehand in the planning process or plan and act?
3. How does the Takt production differ between different projects?
 - a. Has the company got a constant layout for Takt production, which is polished for the project or every project is started from the beginning?
4. What if any software do you use, for Takt implementation? (tracking system for daily completing levels of phases etc.)
5. How do you plan scheduling of backlog work?
 - a. how do you maximize the exploitation of backlog areas?
6. How do you minimize go-back work?
 - a. Is the area checked that is 100% finished, is it required from the the trade partners?
 - b. How do you implement this?
7. How do the trade partners react to Takt production in procurement stage?

Client changes effects on Takt Planning

1. How do you plan in advance for client requirement changes?
 - a. Is it placed on the Takt time schedule, a buffer for it? (If there are bigger changes like completely changing a room, f.e office room to laboratory?)
 - b. Or done off takt?

Occuring problems and how are they fixed?

1. Have you had problems with design not being ready or on date?
 - a. Is there a way to address this problem, if yes what?
 - b. How to finish when design is not on date?
2. How does the personnel feel about Takt production, resistance?
3. Do you have reception inspection after every takt area?
 - a. How do you arrange the time?
 - b. Have you got enough resources?
4. How often do you update the takt time schedule or is it final?

5. How do you keep your own organization updated on daily basis with takt control?
 - a. Everyday walks on site or?
6. Do you use double train system?
 - a. if yes, how do you implement buffers for them?

How often do you keep track of the schedule and where are you going on it